



NutrientKit

Manual de Uso del Boro Nutrición Vegetal de Especialidad



Juan Francisco Palma Mendoza

SQM tiene el agrado de poner a disposición de los productores y profesionales del agro el presente "Manual de Uso del Boro" como una herramienta para entender mejor el Boro, elemento que es esencial para obtener un rendimiento eficiente y elevar la productividad en la agricultura.

Jaime Contese G.
Director
Unidad de Desarrollo de Nuevos Negocios
SQM INDUSTRIAL S.A.

Prólogo	7
1. Introducción	9
2. Aspectos Fundamentales: Historia, Rol y Efectos del Boro	11
2.1 Historia del Boro.....	11
2.2 Rol del Boro	11
2.3 Efectos del Boro	12
2.3.1 Efectos del Boro sobre la Pared Celular: Estructura y Estabilización.....	13
2.3.2 Efectos del Boro sobre el Crecimiento, Desarrollo y Reproducción.....	18
2.3.3 Efectos del Boro sobre el Metabolismo y Transporte de Glúcidos	18
2.3.4 Efecto del Boro sobre el Contenido Fenólico de los Tejidos.....	19
2.3.5 Efecto del Boro sobre la Elongación de Raíz.....	19
2.3.6 Efecto del Boro sobre la Fotosíntesis.....	20
2.3.7 Efectos del Boro sobre Ácidos Nucleicos, Síntesis de Proteínas y Desarrollo de Tejidos	20
2.3.8 Efecto del Boro sobre una Mayor Actividad de Auxinas.....	20
2.3.9 Efectos del Boro sobre Polinización y Cuajado de Fruto	21
2.3.10 El Boro es Esencial en Procesos Metabólicos en que Interviene el Fósforo.....	21
2.3.11 Efecto del Boro sobre el Incremento de la Pigmentación en Frutos	22
2.3.12 Resumen del Rol del Boro en el Metabolismo de los Sistemas Biológicos.....	23
3. El Boro como Elemento Esencial	24
3.1 Boro en los Suelos	25
3.1.1 Adsorción de Boro: formas y factores.....	26
3.1.1.1 pH del Suelo.....	27
3.1.1.2 Presencia de Hidróxidos.....	29
3.1.1.3 Tipos de Texturas.....	30
3.1.1.4 Clima y Humedad en el Suelo.....	31
3.1.1.5 Materia Orgánica.....	31
3.1.1.6 Temperatura.....	31
3.1.2 Interacciones del Boro con Otros Elementos	31
3.1.2.1 Interacciones con el Calcio	31
3.1.2.2 Interacciones con el Nitrógeno	34
3.1.2.3 Interacciones con el Fósforo.....	35
3.1.2.4 Interacciones con el Potasio.....	35
3.1.2.5 Interacciones con el Zinc.....	35
3.2 Boro ¿Móvil o Inmóvil en los Tejidos de la Planta?	37



4. Tablas que Facilitan el Manejo del Nivel Nutricional de Boro en las Plantas.	43
4.1 Niveles Críticos del Boro en Aguas.....	43
4.2 Niveles Críticos del Boro en Suelos	45
4.3 Obtención de Niveles de Boro en Tejidos Foliare y Otros	46
4.3.1 Toma de Muestras para Análisis Foliar de Boro.....	47
4.3.2 Niveles Críticos de Boro en Tejidos Foliare y Otros	48
5. Síntomas y Diagnóstico de las Deficiencias de Boro en las Plantas y Desbalances como Excesos o Toxicidades	52
5.1 Deficiencias de Boro	55
5.1.1 Síntomas de Deficiencia en Vid	58
5.1.2 Síntomas de Deficiencia en Peral y Manzano.....	59
5.1.3 Síntomas de Deficiencia en Olivo	61
5.1.4 Síntomas de Deficiencia en Cítricos.....	61
5.1.5 Síntomas de Deficiencia en Tomate.....	63
5.1.6 Síntomas de Deficiencia en Pimiento	64
5.1.7 Síntomas de Deficiencia en Papa.....	65
5.1.8 Síntomas de Deficiencia en Tabaco	66
5.1.9 Síntomas de Deficiencia en Almendro	67
5.1.10 Síntomas de Deficiencia en Aguacate o Palto.....	68
5.1.11 Síntomas de Deficiencia en Banano.....	70
5.1.12 Síntomas de Deficiencia en Café	70
5.1.13 Síntomas de Deficiencia en Sandía.....	71
5.1.14 Síntomas de Deficiencia en Clavel.....	71
5.1.15 Síntomas de Deficiencia en Rosa	72
5.1.16 Síntomas de Deficiencia en Papaya	73
5.1.17 Síntomas de Deficiencia en Piña	74
5.1.18 Síntomas de Deficiencia en Fresa o Frutilla	74
5.1.19 Síntomas de Deficiencia en Girasol.....	75
5.1.20 Síntomas de Deficiencia en Maíz	75
5.2 Toxicidad del Boro.....	76
6. Características de Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) en Cuanto a Corregir Desbalances Nutricionales Ocasionados por Boro	82
6.1 Principales Fuentes de Boro Utilizadas como Materia Prima	82
6.2 Proceso de Producción del Ácido Bórico y su Importancia como Materia Prima	85
6.3 Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) de SQM	86
6.3.1 Características Técnicas de Grop™ Boronat - 32 AG y Grop™ Boronat - 30 AG	87
6.3.2 Características Técnicas de Ultrasol™ Micro Boro	89
6.3.3 Características Técnicas de Speedfol™ B SP.....	89
6.3.3.1 Efecto de Speedfol™ B SP Sobre la Velocidad de Disolución.....	91
6.3.3.2 Efecto de Speedfol™ B SP Sobre la Recuperación del Nivel de Boro en el Tejido Foliar	91
6.3.3.3 Efecto de Speedfol™ B SP sobre el pH de la Disolución y la Eficiencia de Agroquímicos.....	92
6.3.3.4 Resumen de Ventajas, Beneficios y Comparación de Speedfol™ B SP con Otros Productos del Mercado	96

6.3.3.5	Speedfol™ B SP, es Integrante de la Familia del Nuevo Proyecto SQM de Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) para Aplicación Foliar Speedfol™	97
6.3.3.6	Lanzamientos y Programas de Marketing Corporativo de Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) Speedfol™ para Aplicaciones Foliares a Nivel Mundial	98
7.	Recomendaciones en el Uso de Productos con Boro	100
7.1	Estrategias para la Prevención o Control de las Deficiencias de Boro en Plantas	100
7.1.1	Especies que Contengan Polioles en sus Estructuras Químicas	100
7.1.2	Especies que no Contengan estos Polioles y Uso de Transgenia en la Inducción del Transporte del Boro dentro de la Planta	101
7.2	Uso de Dos Filosofías Respecto a la Prevención y el Tratamiento de la Deficiencia de Boro: ¿Uso de Aplicaciones al Suelo o Foliares?	102
7.2.1	Recomendaciones: Aplicaciones de Boro al Suelo	102
7.2.2	Recomendaciones: Aplicaciones de Boro al Follaje	106
7.2.2.1	¿Qué es un Programa de Fertilización Foliar SQM con Speedfol™?	106
7.2.2.2	Recomendaciones de Uso de Speedfol™ B SP en los Cultivos	107
7.2.2.3	Recomendaciones de Otras Fuentes de Boro en Aplicación Foliar	112
8.	Resultados de Investigaciones Demostrando el Uso de Boro dentro de un Balance Nutricional	114
8.1	Uva de Mesa	114
8.2	Aguacate o Palto	116
8.3	Banano	117
8.4	Manzano	117
8.5	Peral	129
8.6	Papa	132
9.	Efectividad del Uso de Speedfol™ B SP, Speedfol™ Color SP y Qrop™ Boronat - 32 AG en Programas Nutricionales Balanceados	133
9.1	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre el Rendimiento de Raps (<i>Brassica napus</i>)	135
9.2	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Rentabilidad en Raps (<i>Brassica napus</i>)	136
9.3	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Absorción de B en la Hoja de Maní (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	137
9.4	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Recuperación del Nivel de B Foliar (en relación a otras 4 diferentes Fuentes de Competidores presentes en el Mercado Mundial) de Raps (<i>Brassica napus</i>)	139
9.5	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Incidencia de Bitter pit en la Fruta sobre Manzanos cv. Braeburn (<i>Malus pumila</i>)	141
9.6	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Absorción Foliar de Elementos tales como Boro y Calcio sobre Manzanos cv. Braeburn (<i>Malus pumila</i>)	143
9.7	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre el Incremento de la Absorción de B en la Hoja sobre Algodón (<i>Gossypium</i> spp.) bajo un Sistema de Riego en Pivote	145



9.8	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre el Incremento de la Absorción de B en la Hoja sobre Algodón (<i>Gossypium</i> spp.) bajo un Sistema de Secano, sin Irrigación	147
9.9	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre las Categorías de Color sobre Manzanos cv. Gala (<i>Malus pumila</i>)	149
9.10	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre la Incidencia de Bitter pit en la Fruta sobre Manzanos cv. Gala (<i>Malus pumila</i>)	151
9.11	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre el Color de Cubrimiento en Manzanos cv. Gala (<i>Malus pumila</i>)	152
9.12	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre el Porcentaje de Sólidos Solubles Totales en la Fruta sobre Manzanos cv. Gala (<i>Malus pumila</i>)	153
9.13	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre las Categorías de Color sobre Manzanos cv. Fuji (<i>Malus pumila</i>)	154
9.14	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Qrop™ Boronat - 32 AG sobre el Incremento del Peso Fresco del Racimo en Banano (<i>Musa sapientum</i>) bajo un Sistema de Riego Tradicional.....	155
9.15	Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Qrop™ Boronat - 32 AG sobre el Incremento en el Rendimiento sobre Papa (<i>Solanum tuberosum</i>) bajo un Sistema de Riego Tradicional	156
10.	Literatura Citada	158
	Glosario	164

Prólogo

Este Manual sobre el Boro, un elemento químico esencial para la agricultura, ha sido preparado por **SQM** pensando en quienes participan en la distribución, aplicación y uso de nuestros productos en distintos países y situaciones agroecológicas.

SQM es uno de los mayores proveedores de especialidades en nutrición de plantas y servicios a distribuidores y agricultores en todo el mundo. El Manual incluye la más reciente información sobre la materia, reunida a través de actividades de estudio y desarrollo, junto con las experiencias prácticas de los especialistas de la compañía en distintos continentes en la búsqueda de un manejo nutricional integral de plantas.

El objetivo de este Manual es suministrar amplitud en el conocimiento del uso y manejo de la nutrición con Boro en las plantas, y su contexto en diferentes tópicos de interés para los socios de negocios de **SQM**, tales como distribuidores, productores, agrónomos y técnicos asesores.

Así, en el Capítulo 2, se encontrarán los antecedentes de la forma como el Boro cumple un rol fundamental en la producción, lo mismo que sobre sus efectos y diferentes parámetros que permiten suministrar un mejoramiento de rendimiento y calidad en la planta, con un consiguiente máximo ingreso financiero para el agricultor. En el Capítulo 3, se describen el Boro como elemento esencial en la vida de los vegetales y los factores que controlan su disponibilidad, y movilidad o inmovilidad, en los tejidos de la planta, dependiendo de cada especie agrícola. Esta información se complementa con una serie de Tablas destinadas a facilitar el manejo del nivel nutricional de Boro en las plantas, que se entregan en el Capítulo 4, destacándose la consideración de los niveles críticos en aguas, suelos y tejidos. Por su parte, el Capítulo 5 proporciona una guía de figuras con sintomatologías de problemas que se presentan en distintas especies cuando ocurren deficiencias y/o desbalances (desórdenes fisiológicos) o excesos nutricionales (toxicidades). Lo anterior se complementa en el Capítulo 6 con información técnica sobre las características de los productos de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)**, en cuanto a corregir desbalances nutricionales ocasionados por Boro en forma efectiva, y con las recomendaciones y estrategias en el uso de productos con Boro que se proporcionan en el Capítulo 7. A continuación, en el Capítulo 8 se muestran resultados de investigaciones que respaldan la necesidad de un balance nutricional con Boro, mientras que el Capítulo 9 resume los resultados económicos de ensayos demostrativos de **SQM** en campos, en los cuales se destaca la efectividad del uso de **Speedfol™ B SP**, **Speedfol™ Color SP** y **Qrop™ Boronat - 32 AG** en programas nutricionales balanceados, en cultivos como raps, maní, manzanos, papa, algodón y banano. Un vistazo general de la literatura citada en este texto se presenta en el Capítulo 10, a lo que se suma, finalmente, un Glosario destinado a facilitar la comprensión de determinados términos técnicos agronómicos para todos los interesados.



Esperamos que este Manual se constituya en una herramienta de utilidad permanente en las cotidianas labores relacionadas con las necesidades nutricionales de las plantas.

Mayor información está disponible a través de los agrónomos **SQM**, de manera que usted pueda trabajar con su agrónomo local un específico programa nutricional basado en la aplicación del Boro, para asegurarse el logro de excelentes rendimientos.

Juan Francisco Palma Mendoza

Gerente de Desarrollo de Mercados en Aplicación Foliar
Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)
SQM Industrial S.A.



1 Introducción

El Boro (B) es un microelemento esencial que cumple importantes roles en el correcto funcionamiento de los cultivos. Se destaca su papel en las etapas de floración, cuajado de fruto y producción de semillas, en que los requerimientos de este nutriente son particularmente altos.

Dentro de los avances en la comprensión de la importancia y verdadero rol fisiológico, en la última década se han determinado las formas químicas y función del Boro en la pared celular de las plantas. Se identificó así el rol de alcoholes polídricos en el transporte floemático del Boro y la caracterización de los procesos de participación de este elemento en la formación de complejos (diol) boratos, ya que existe una estrecha relación de puentes de calcio (Ca) entre ambos complejos. Recordemos que en la pared celular el calcio se estabiliza por las cargas negativas de las pectinas suministradas por el Boro. De ahí que, en su ausencia, el calcio sea desplazado y pase al apoplasto (Mügghling et al., 1998, citado por Brown, 2002). El Ácido Bórico, una de las principales fuentes comerciales de Boro, puede formar enlaces éster con alcoholes. Esta capacidad, también aplicable a polioles, le permite servir como puente de unión entre distintas moléculas hidroxiladas, como polisacáridos, dioles e hidroxiácidos, presentes en estructuras biológicas (Matsunaga e Ishii, 2004).

El Boro tiene gran importancia porque su deficiencia es común a muchos tipos de suelos en el mundo. Una de las características fundamentales del déficit del Boro en la agricultura es que su carencia inhibe los tejidos de crecimiento, especialmente la estructura reproductiva de las plantas, que representan el 80 por ciento de los productos agrícolas mundiales. La deficiencia de Boro crea un amplio rango de síntomas anatómicos, incluyendo la inhibición del crecimiento apical y su extensión, y la necrosis de yemas terminales, partidura y quiebre de tallos y pecíolos, inicial aborto de flores, y caída de frutos (Mozafar, Goldbach; citado por Brown, 2002). Además la deficiencia trae consigo cambios fisiológicos y bioquímicos que alteran de esta manera la estructura de la pared celular y la integridad de la membrana y su función, cambios en la actividad enzimática y alteración de la producción de un amplio rango de metabolitos de la planta (Goldbach, 1997; citado por Brown, 2002).

En otras palabras, el Boro afecta directamente a lo que comemos o las fibras que usamos para vestirnos (Brown; citado en New AG International en Español, 2007).

Una de las maneras más efectivas de controlar las deficiencias de dicho elemento en forma preventiva es a través de aplicaciones foliares de micropartículas de Ácido Bórico. De este modo se optimizan las condiciones durante la aplicación no sólo de productos foliares, sino que también de pesticidas en general al mejorar las condiciones de acidificación del medio, lo que garantiza la mayor eficiencia de sus ingredientes



activos. Además, el utilizar fuentes libres de cloro y de sodio no ocasionará daños asociados a la aplicación foliar como toxicidades, manifestadas como quemazón o necrosis en el follaje, que, en consecuencia, disminuyen la capacidad fotosintética de los cultivos.

Cabe señalar que el Boro se caracteriza por ser de baja movilidad a nivel vascular dentro de la planta. Sin embargo, últimas investigaciones han demostrado la factibilidad de movilizar el Boro dentro del tejido floemático a través de moléculas acompañantes de dicho elemento tales como los polioles, los cuales dependiendo del tipo asociado al elemento influirán directamente sobre el cultivo en que predominen dichos compuestos orgánicos.

2 Aspectos Fundamentales: Historia, Rol y Efectos del Boro

2.1 Historia del Boro

El Boro y sus efectos biológicos han sido estudiados desde hace muchos años, lo que ha permitido establecer el rol esencial que cumple como micronutriente en las plantas (Warrington, 1923; citado por Brown, 2002). De hecho, el Ácido Bórico fue el primer producto recomendado para aplicaciones foliares a mediados de los años '30. Y hacia los años '50 fue testeado un producto a base de poliborato de sodio llamado Polybor, el cual, reformulado, pasó a llamarse más tarde Solubor.

En 1981 se describieron los síntomas biológicos ocasionados por la deficiencia del Boro (Smyth, D. y Dugger W.). En 1990, Bonilla et al.; citado por Brown (2002), estudió sobre el Boro y los requerimientos de este elemento en la cianobacteria y su posible rol en la evolución de la fotosíntesis. Bonilla et al. (1997); citado por Brown (2002), describió los efectos celulares aberrantes desarrollados en plantas que yacen en suelos deficientes en Boro. Fort et al. (1998) publicó sobre los efectos adversos reproductivos y de desarrollo en xenopus, debido a la deficiencia de Boro, citado por Brown (2002).

2.2 Rol del Boro

El comportamiento del Boro tiene características similares a las del carbono en lo que se refiere a su configuración electrónica, punto de ebullición, y otras propiedades. Sin embargo, el Boro no juega un papel preferencial estructural como lo hace el carbono, sino más bien forma complejos por sus características químicas con otras moléculas (Rojas, 2004). Ver Figura 1.

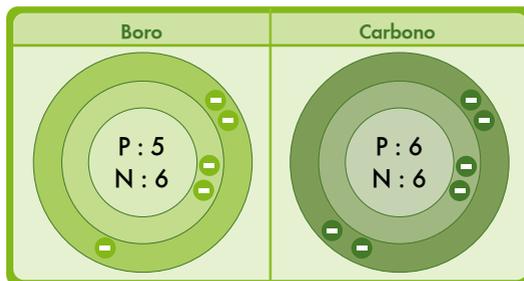


Figura 1. Comparación de la estructura del carbono y del Boro (Fuente: Rojas, 2004).



En 1999, se definió por primera vez el rol definitivo del Boro en las plantas. Así se estableció que es un componente estructural y estabilizador de la pared celular, por lo que resulta esencial para que dicha pared tenga una estructura química y física que permita su crecimiento. En ausencia de cantidades suficientes de Boro, la pared celular se torna porosa e interrumpe los procesos bioquímicos normales, y también se rigidiza, lo que restringe la expansión celular que es la base para el crecimiento (Brown, 2007). En consecuencia, el Boro cumple una función importante sobre la síntesis y estabilidad de las paredes y membranas celulares (Brown, 2007).

Entre las diversas funciones atribuibles al Boro en las plantas, dos estarían claramente definidas. Estas son la síntesis de la pared celular (formación de pectina y lignina) y la integridad de la membrana plasmática (Cakmag y Romheld, 1998; citado por Yamada, 2000; Brown, 2007), junto con desempeñar además un papel esencial en otros procesos metabólicos (Alarcón, 2002, Brown, 2002) como:

- El transporte de azúcares.
- En lignificación.
- En la síntesis de sacarosa, con lo que influye en la respiración celular.
- En el metabolismo de ácidos ribonucleicos (RNA).
- En la biosíntesis de carbohidratos.
- En la fotosíntesis.
- En el metabolismo proteico.
- En el aumento del porcentaje de polinización y cuajado de frutos.
- En la floración (mejorar cuaja), fijación de la fruta y el desarrollo de la semilla (germinación del polen y crecimiento del tubo de polen).
- En el metabolito del ácido Indol acético (AIA).
- En el metabolismo de los fenoles y ascorbatos.

En resumen, como actúa en la floración de la pectina en la membrana celular, la presencia del Boro es muy importante en los puntos donde ocurre una intensa división celular, como los ápices vegetativos. Participa también en la formación del floema, desarrollo de los frutos, flores y raíces, germinación del polen, absorción de agua y metabolito de los glúcidos. El Boro es imprescindible para la absorción, transporte y metabolismo de cultivos, especialmente del calcio (Sosa, 2000).

2.3 Efectos del Boro

A continuación se describen los efectos del Boro sobre los siguientes parámetros de las plantas (citado por Palma en **SQM**, 2007):

- La pared celular (estructura y estabilización).
- Crecimiento, desarrollo y reproducción de los sistemas biológicos.
- Metabolismo y transporte de glúcidos.
- Contenido fenológico de los tejidos.

- Elongación de la raíz.
- Fotosíntesis.
- Ácidos nucleicos, síntesis de proteínas y diferenciación tisular.
- Mayor actividad de auxinas.
- Polinización y cuajado de frutos.
- Procesos metabólicos donde interviene el fósforo.
- Incremento de la pigmentación en frutos.
- Producción sobre mayores nódulos de leguminosas.

2.3.1 Efectos del Boro sobre la Pared Celular: Estructura y Estabilización

En las células vegetales, la pared primaria es un componente dinámico, que define y limita la morfología celular. La pared primaria de plantas dicotiledóneas normalmente está compuesta de un 25-30% de celulosa, de un 15-25% de hemicelulosa, de un 35% de pectina y de un 5-10% de proteínas (Taiz y Zeiger, 1991). Las microfibrillas de celulosa se disponen formando un entramado embebido en una matriz amorfa formada por hemicelulosa, pectinas y proteínas. Mientras que las primeras sirven para soportar las tensiones ejercidas sobre la célula (Niklas, 1992), y dirigir su crecimiento (Darley y col., 2001), la matriz se encarga de controlar la rigidez y el grosor de la pared. Así, la hemicelulosa se establece como un puente que enlaza a las microfibrillas de celulosa y facilita así su interacción con el gel constituido por las pectinas. Las proteínas presentes en la pared actúan bien como andamio sobre el que se disponen los polisacáridos integrantes de la pared, como las proteínas ricas en prolina e hidroxiprolina (HRGPs), o bien regulando las interacciones de las pectinas y hemicelulosa con la celulosa, a las que debilita cuando la célula necesita crecer en tamaño, como hacen las extensinas (Figura 2).

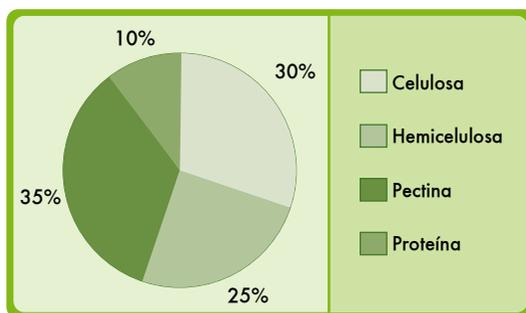


Figura 2. Composición de la pared primaria en células vegetales de plantas Dicotiledóneas (Fuente: Brown, 2007).



El 90 por ciento del Boro en las células ha sido localizado en la pared celular (Loomis y Durst, 1992). Se han descrito importantes observaciones de las alteraciones anatómicas a que conduce la deficiencia del Boro en los sistemas biológicos (Schmucker; Loomis and Durts, 1932), citado por Brown (2002), dejando claramente establecido que el Boro es esencial en los organismos con pared rica en carbohidratos (Lewis, 1980; citado por Brown, 2002). Así, el Boro es necesario para la síntesis de pectinas. En resumen: se puede observar que las paredes celulares presentan los más altos contenidos en Boro.

Cabe mencionar que en la pared celular el calcio se estabiliza a causa de las cargas negativas de las pectinas suministradas por el Boro. De ahí que, en su ausencia, el calcio sea desplazado y pase al apoplasto (Múlhing et al., 1998; citado por Brown, 2002). El Ácido Bórico es una de las principales fuentes comerciales de Boro que pueden formar enlaces éster con alcoholes. Esta capacidad, también aplicable a polioles (sorbitol y manitol), le permite servir como puente de unión entre distintas moléculas hidroxiladas, como polisacáridos, dioles e hidroxiaácidos, presentes en estructuras biológicas (Van Duin et al., 1967). Ver Figura 3.

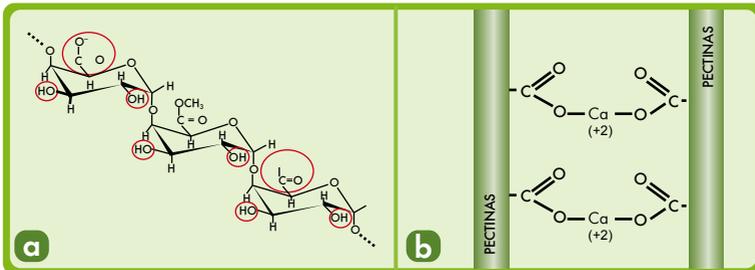
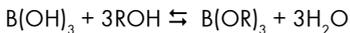


Figura 3. Estructura del pectato de calcio (a), donde se aprecia un puente de calcio entre dos complejos Bis (Diol) Boratos (b), siendo ésta una de las tres formas posibles de unión a la pared celular.

Kobayashi et al. (1996) observaron que existe gran cantidad de Boro formando complejos en la pared celular, lo que permite darle estabilización, ya que la química del Boro señala que el Ácido Bórico puede formar enlaces éster con alcoholes de acuerdo a la siguiente ecuación:



Esta capacidad, también aplicable a polioles, como se señaló anteriormente, le permite servir como puente de unión entre distintas moléculas hidroxiladas, como polisacáridos, dioles e hidroxiaácidos, presentes en estructuras biológicas (Figura 4). Cabe destacar que la formación de estos enlaces éster con alcoholes y la disociación espontánea de estos mismos es dinámica y dependiente de factores como el pH. Así tenemos que la estabilidad de complejos de B cis-diol es favorecida respecto a otros complejos de Boro, como el trans-diol, si se incrementa el pH (Brown, 2002).

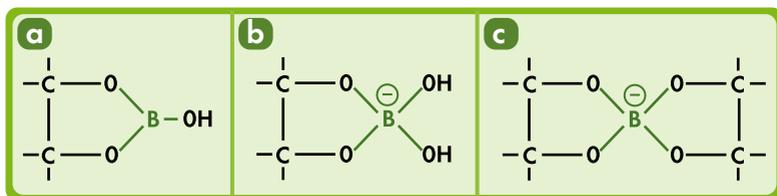


Figura 4. Modelos esquemáticos de las distintas interacciones del Ácido Bórico con grupos cis-diol (A): éster cis-diol borato; (B): complejo monoborato; (C): complejo bis-diol borato.

Por citar un ejemplo de lo anterior, en la siguiente Figura 5 se observa la detección de complejos químicos presentes en raíces de rábano (Matsunaga y Nagata, 1995) tales como Ácido Bórico y 1,2 diol borato, evidenciando la actividad de la enzima digestiva en la raíz del rábano porque se determinó la formación del complejo ramnogalacturonano II-borato, complejo llamado también (dRG-II-B), el cual corresponde a un derivado diol-éster de borato (modelo C en Figura 4) que completa la red estructural de la pared celular (Ishii y Matsunaga, 1996).

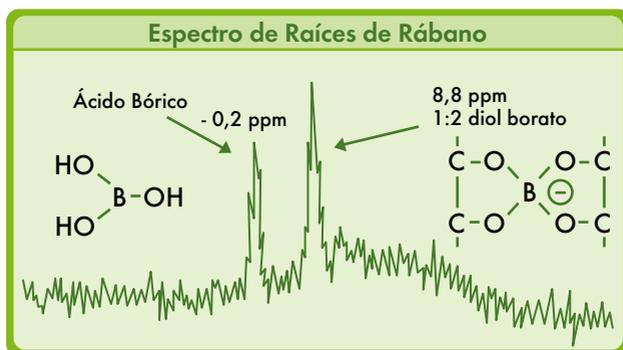


Figura 5. Detección de complejos químicos presentes en raíces de rábano (Fuente: Matsunaga y Nagata (1995)).

Los primeros síntomas de la deficiencia de Boro incluyen anomalías en la pared celular y lámina media (Hu y Brown, 1994; Match y otros, 1992; Loomis y Durst, 1992). Además los síntomas incluyen la cesación del crecimiento apical del meristema y el desarrollo de fragilidad en las hojas. Estas alteraciones se han atribuido a la inhibición de la síntesis de la pared celular (Loomis y Durst, 1992). Ver síntomas en Capítulo 5.



Clarkson y Hanson (1980), citado por Brown (2002), propuso que mediante la formación de puentes cruzados en pectina, el Boro protege con abastecimiento de calcio en la pared de la célula. Yamanouchi (1971) y Yamauchi et al. (1986); citado por Brown (2002), fueron quienes determinaron que la deficiencia de Boro produce déficit en las paredes de las células de tomate, con lo que presentan menos contenidos de calcio. Teasdale y Richards (1990), citado por Brown (2002), apoyaron la idea de que los diol-éster de borato, formados con hidroxilos de pectina, proporcionan áreas de quelación de calcio o de magnesio en las paredes de las células.

Loomis and Durst (1992), citado por Brown (2002), fueron los primeros en postular la presencia de una especie de azúcar dentro de la fracción péptica de la pared celular de la planta, la que puede ser un componente de la pared celular capaz de formar ésteres con Ácido Bórico o borato bajo condiciones fisiológicas y, por lo tanto, provee puentes cruzados entre la red péptica de la pared celular de la planta.

Estos estudios mostraron una relación directa entre la estabilización de la pared y el Boro, aunque no la forma en que se llevaba a cabo. Por otro lado, el Boro forma los enlaces diol-éster de borato más estables entre los furanósidos y un grupo cis-diol (Loomis y Durst, 1992). En la naturaleza sólo cumplen estas características la apiosa y la ribosa. La apiosa forma parte de uno de los componentes principales de la fracción pectínica de la pared, el ramnogalacturonano II (RG-II), el cual normalmente se encuentra en forma dimérica precisamente gracias a los enlaces borato-diéster que establece el Boro con las dos cadenas de RG-II a través de sus residuos de apiosa respectivos (Kobayashi y col., 1996). Ver modelo de ligamiento cruzado en Figura 6.

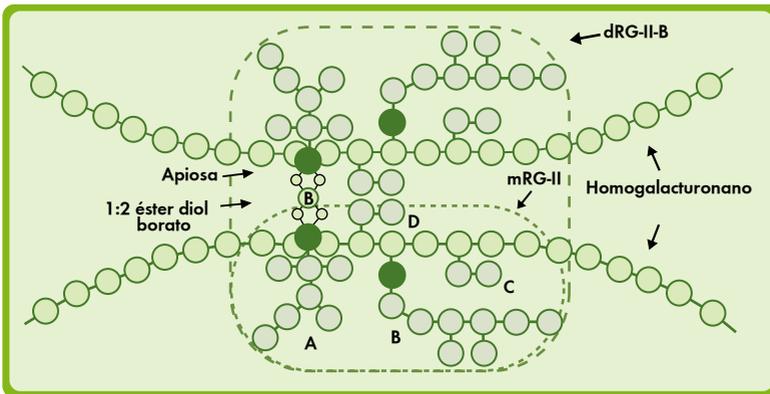


Figura 6. Modelo de ligamiento cruzado en la formación del complejo dRG - II de Boro (ramnogalacturonano)(Fuente: Matsunaga e Ishii (1996)).

En consecuencia, se puede evidenciar fragilidad en las hojas de las plantas por el déficit de Boro, mientras que las plantas cultivadas con niveles supra óptimos de Boro tienden a producir hojas más elásticas en su respuesta a la flexión (Gauch y Dugger, 1955; Hu y Brown, 1994; Loomis y Durst, citado por Brown, 2002).

Las deficiencias del Boro también evidencian disminución de las células de la pared celular, con lo que disminuye así su espesor. (Spurr, 1975; Kouchi and Kumazawa, 1976; citado por Brown, 2002). Estructuralmente se presentan deformidades (Lee and Aronoff, 1966, citado por Brown, 2002) junto con alteraciones en las texturas con grietas gruesas (Match et al. 1992; citado por Brown, 2002; Fisher y Hecht-Buchholz, 1985; citado por Callejas, 2003). Ver Figura 7.

Fleischer et al. 1998, citado por Brown (2002), realizó un estudio en el que se constató que las células con deficiencia de Boro aumentaban rápidamente el tamaño de los poros de la pared celular, mientras que las células bien abastecidas con Boro no presentaban dicho aumento. Las células deficientes de Boro podrían sobrevivir en etapas iniciales de crecimiento, pero no logran llegar a fases estacionarias, donde existe expansión, y antes de que llegue dicha etapa mueren por ruptura de la pared celular.

El tamaño del poro se define como el tamaño de corte de la pared celular y es determinado por la densidad y estructura de la matriz de polisacáridos de una de las capas de la pared celular. En consecuencia, una deficiencia de Boro disminuye el grosor de la pared, afectando el tamaño del poro.

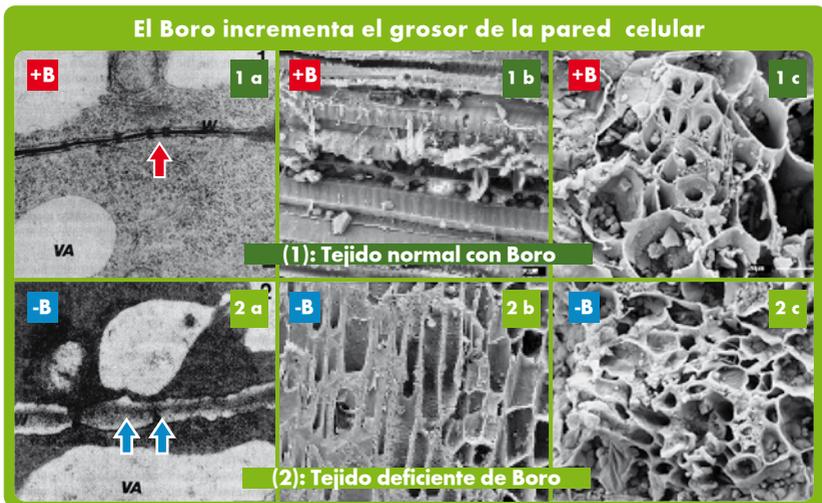


Figura 7. Efecto del Boro sobre el engrosamiento de la pared celular (1a y 2a) (Fuente: Fisher y Hecht-Buchholz, 1985; citado por Callejas, 2003) y sobre el haz vascular del tallo (1b y 2b) y vena de hoja secundaria en café (1c y 2c)(Fuente: Rosolem y Leite, 2007).



2.3.2 Efectos del Boro sobre el Crecimiento, Desarrollo y Reproducción

Las deficiencias del Boro generan diversas alteraciones. Estas van desde la absorción de nutrientes (Gauch and Dugger, 1954; citado por Brown, 2002), formación de la yema floral (Kamali y Childers, 1970) hasta la floración prematura y caída del fruto en la mayoría de los cultivos de árboles (Hanson and Breen 1985, citado por Brown, 2002). También se ha evidenciado que la calidad de las semillas del cultivo es pobre, lo que trae como consecuencia esterilidad en el aparato reproductivo masculino del trigo (Rawson, 1996, citado por Brown, 2002), esterilidad del pistilo del maíz (Vaughan, 1977; citado por Brown, 2002) y cambios en el sexo del mango.

2.3.3 Efectos del Boro sobre el Metabolismo y Transporte de Glúcidos

La carencia de Boro también puede conducir a la obturación de los tubos cribosos, limitando el transporte por el floema en café (Rosolem y Leite, 2007). Así pues, el Boro juega un papel esencial en los procesos de transporte de los productos asimilados, lo que guarda relación con el movimiento de azúcares producidos desde los tejidos hacia los "sink fisiológicos". Además, plantas deficientes en Boro dificultan enormemente la translocación del calcio y la absorción y utilización del fósforo.

El Boro también juega un papel importante en la utilización y distribución de los glúcidos dentro de la planta. La deficiencia de Boro provoca una acumulación de azúcares en los tejidos (Alarcón, 2002). También se cree que el Boro facilita el transporte de azúcares a través de la membrana formando un complejo azúcar-borato. Igualmente, ha sido demostrada la intervención directa del Boro en la síntesis de sacarosa y almidón.

Por otro lado, los procesos de cómo el Boro participa en los eventos metabólicos aún no están del todo claros, ya que la manera en que se producen las alteraciones metabólicas son muy rápidas. Se han observado alteraciones en el ciclo ascorbato-glutación, en que se reducen los niveles de ambos, por inhibición de las enzimas peroxidasa de ascorbato y reductasa glutación. (Lukaszkeski and Blevins, 1996, citado por Brown, 2002).

Además, el Boro parece afectar al transporte de los productos de síntesis en los que es básica la sacarosa. Estos efectos podrían ser explicados si se comprueba la influencia del Boro en la síntesis de uracil, componente esencial del RNA y compuesto necesario para la formación de una coenzima determinante de la síntesis de sacarosa.

2.3.4 Efecto del Boro sobre el Contenido Fenólico de los Tejidos

También se han postulado efectos en la generación de radicales oxigenados y en la generación secundaria de alteraciones en el crecimiento. Ello se debe a que el Boro es uno de los nutrientes principales en el metabolismo del fenol. La deficiencia de Boro aumenta la concentración de compuestos fenólicos a través de la estimulación de la enzima liasa fenilalanina-amonio (LFA) (Dugger, 1983; citado por Brown 2002). En consecuencia, la acumulación de fenoles evidencia que su principal implicancia es el daño sobre la estructura y función de la membrana, por lo que provoca un oscurecimiento de los tejidos debido a una acumulación de compuestos fenólicos. Esto se debe a que se ve impedida la oxidación de compuestos polifenólicos que conduce a la síntesis de lignina, por lo que las paredes celulares quedan debilitadas y la acumulación de compuestos fenólicos produce necrosis del tejido.

2.3.5 Efecto del Boro sobre la Elongación de Raíz

Un aspecto general en la deficiencia de Boro es el mal desarrollo de los tejidos meristemáticos, tanto a nivel de raíz como de los brotes.

Los primeros síntomas reflejan dificultades en la división y desarrollo celular. Las células se dividen, pero la separación no se produce correctamente, con lo cual se presenta un desarrollo incompleto e irregular del tejido, acompañado de falta de elongación. Entonces, a nivel de raíz, el Boro es requerido primeramente para la elongación de las células, y posteriormente para la división de las mismas (Callejas, 2003). Ver Figura 8.

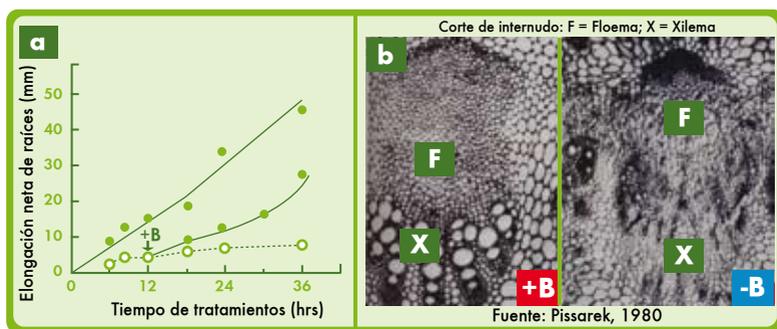


Figura 8. Efecto del Boro sobre la elongación (a) y diferenciación de tejidos (b) (Fuente: Pissarek, 1980; citado por Callejas, 2003).



Le Noble et al. (1993) y Lukaszewski y Blevins (1996); citado por Yamada (2000), observaron que las dicotiledóneas mejoraban el crecimiento radicular en presencia de Boro, aun en condiciones de toxicidad por presencia de aluminio. Un segundo trabajo de los mismos autores demostró que este fenómeno se explicaría por la mayor presencia de ascorbato cuando se aplica Boro.

2.3.6 Efecto del Boro sobre la Fotosíntesis

La deficiencia de Boro también influye en la fotosíntesis, al generar con ella una disminución del oxígeno. Los efectos parecen ser resultado de la oxidación lipídica de la membrana tilacoidal del cloroplasto inducida por la disminución de la tasa transportadora de electrones (fase clara de la fotosíntesis).

2.3.7 Efectos del Boro sobre Ácidos Nucleicos, Síntesis de Proteínas y Desarrollo de Tejidos

El Boro también tiene implicancia en el metabolismo del nitrógeno. Así tenemos que en cultivos como remolacha, tomate, girasol y maíz, los niveles de nitrato se ven alterados por la disminución de la actividad de la enzima nitrato reductasa (Bonilla et al., 1988; citado por Brown, 2002). Pero en plantas con adecuados niveles de Boro existe un aumento en la actividad de la nitrato reductasa y, a la vez, en la asimilación del nitrato, dando como resultado un aumento de la síntesis proteica que optimiza así tanto el proceso metabólico como la absorción de nitrato.

Por sus efectos, se deduce también su influencia en la formación de los ácidos ribonucleicos (RNA) que son esenciales para el desarrollo de nuevos tejidos.

2.3.8 Efecto del Boro sobre una Mayor Actividad de Auxinas

Una deficiencia de Boro gatilla, como efecto secundario, una mayor actividad de la enzima AIA oxidasa (Ácido Indol Acético oxidasa) (Pissarek, 1980; citado por Callejas, 2003), la cual mantiene una mayor concentración endógena de auxinas, las que ejercen un rol de promotor de puntos de intercambio catiónico, atrayendo al calcio a los lugares de crecimiento (Bangerth, 1979; citado por Callejas, 2003). Ver Figura 9.

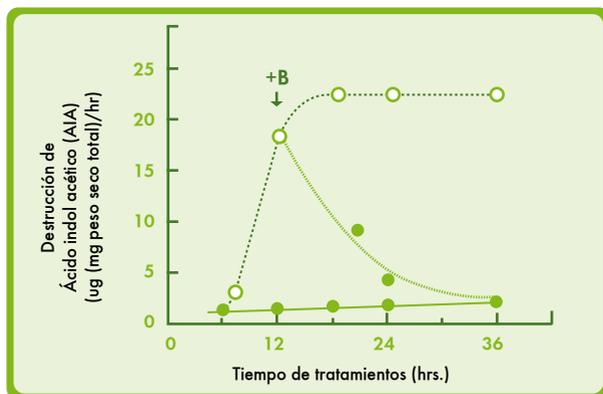


Figura 9. Relación del Boro con las auxinas (Fuente: Pisarek, 1980; citado por Callejas, 2003).

2.3.9 Efectos del Boro sobre Polinización y Cuajado de Fruto

El Boro desempeña una función esencial en la polinización y cuajado de los frutos. Mejora el tamaño y la fertilidad de los granos de polen y tiene un importante papel en la germinación del polen y el crecimiento de los tubos polínicos. Se habla de una necesidad transitoria muy específica durante estos momentos. Por esta razón se cree que tiene una gran importancia el mantener la oferta constante de Boro para la flor (citado por Brown, 2007).

Además, las aplicaciones de Boro mejoran la apetencia de los insectos polinizadores por las flores (abejas). Esto se debe a que aumenta el nivel de néctar y se acorta la longitud del tubo de la corola, con lo que las flores se muestran más atractivas para las abejas.

2.3.10 El Boro es Esencial en Procesos Metabólicos en que Interviene el Fósforo

Una disminución en la capacidad de absorción del elemento fosfato fue observada tanto en el maíz como en sus semillas germinativas cuando existe una deficiencia de Boro (Brown, 2002). El Boro tiene un efecto directo en el desarrollo de microorganismos benéficos, denominados micorrizas, los cuales en simbiosis con las raíces permiten una mayor asimilación del fósforo.



2.3.11 Efecto del Boro sobre el Incremento de la Pigmentación en Frutos

Si bien hasta el momento la mayoría de las investigaciones señalan un mayor rol de otros elementos responsables de incrementar los pigmentos relacionados con la toma de color de la fruta, tales como fósforo y potasio, Yagaratnam y Johnson (1982) demostraron la importancia del efecto de aplicaciones foliares de Boro sobre la intensidad de color rojo en manzanos cultivares Discovery y Cox 's. Sin embargo, se presentaron otros efectos adversos sobre la calidad y pardeamiento durante el almacenamiento de la fruta, lo que hace necesario considerar un programa nutricional balanceado en que se integren todos los elementos involucrados en la ruta metabólica de formación de pigmentos en la fruta, tales como fósforo, potasio y Boro. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de Boro foliar sobre el índice de coloración en frutos de manzana cultivar Discovery. (Fuente: Yagaratan y Johnson, 1982)

Tratamiento	Nivel de Boro en frutos (ppm)		Índice de color rojo (0 - 5)	
	1973	1974	1973	1974
Testigo	2,11	1,98	3,2	2,4
Boro Foliar	5,92***	4,90**	4,3***	3,4***

Nota: Asteriscos (***) son significativos a $P = 0,001$.

2.3.12 Resumen del Rol del Boro en el Metabolismo de los Sistemas Biológicos

El efecto primario y secundario del Boro sobre las diferentes rutas metabólicas dentro de la planta se aprecia en la siguiente Figura 10.

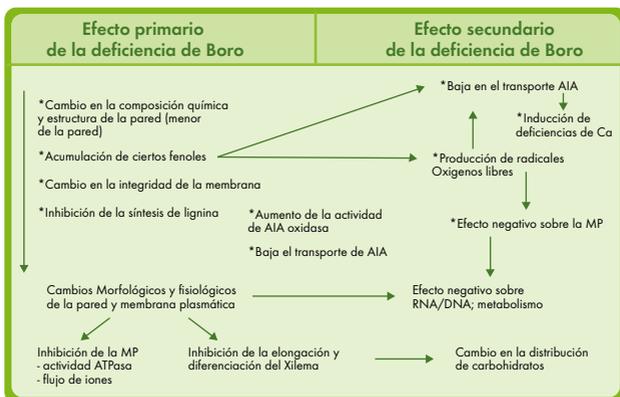


Figura 10. Efecto primario y secundario de la deficiencia de Boro en la fisiología de la planta vegetal (Fuente: Callejas, 2003).

A modo de resumen, la función del Boro y sus beneficios, según Alarcón (2002), se puede apreciar en el siguiente Cuadro 2.

Cuadro 2. Función del Boro y sus beneficios (Fuente: Alarcón, 2002).

Función	Beneficio
Polinización y cuajado de fruto	Mayor tamaño y fertilidad de granos de polen. Mayor crecimiento del tubo polínico. Acorta tamaño de la corola mostrando flores más atractivas. Aumenta nivel de néctar en las flores. Mayor apetencia de insectos polinizadores por las flores. Mayor amarre de frutos y mayor rendimiento.
Elongación y división celular	Mayor desarrollo radicular. Estructura sin deformaciones. Frutos de mayor calibre. Brotos vigorosos.
Transporte de azúcares y asimilados	Frutos de mejor calidad. Frutos de mayor peso. Mayor rendimiento. Mayor absorción de fósforo y calcio.
Participa en síntesis de pectinas	Paredes celulares más gruesas. Mayor vida de anaquel.
Desarrollo de micorrizas	Mayor absorción de fósforo. Mayor desarrollo radicular. Mayor absorción de nutrientes.



3 El Boro como Elemento Esencial

A modo de introducción, todos los cultivos requieren de 13 elementos minerales para subsistir.

Ellos son nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn); zinc (Zn); cobre (Cu); Boro (B); cloro (Cl) y molibdeno (Mo).

Debido a que desempeñan funciones indispensables e insustituibles, reciben la denominación de elementos esenciales. Los seis primeros constituyen los **macroelementos**, por ser utilizados en grandes cantidades. Los demás reciben el nombre de **microelementos**. Al ser requeridos en magnitud mucho menor, estos últimos son también llamados elementos menores u oligoelementos (Figura 11).

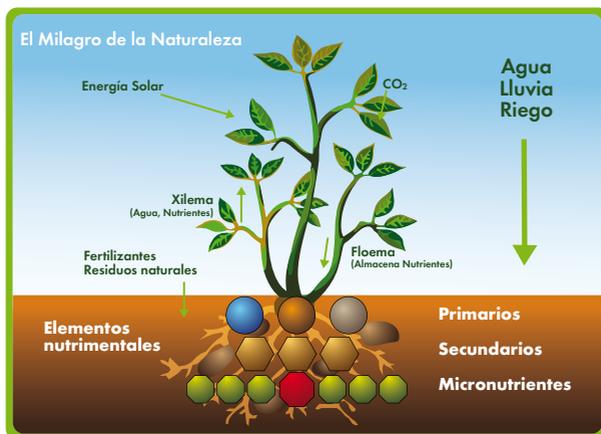


Figura 11. Requerimientos de los 13 elementos esenciales (Fuente: SQM, 2007).

Respecto a los otros siete oligoelementos o micronutrientes, el Boro es el único elemento no metálico que posee una valencia de +3, y con el más pequeño radio iónico.

3.1 Boro en los Suelos

El Boro presente en los suelos proviene de las rocas ígneas y de sedimentos marinos, con una distribución bastante desigual. Así tenemos que en rocas ígneas ácidas se han encontrado valores hasta de 60 mg/kg de Boro. En contraste, en rocas ígneas básicas, que son más bien pobres en Boro, se han hallado no más de unos 10 mg/kg. Por otro lado, el agua de mar contiene, como promedio, 4 a 6 mg/kg de Boro y, en consecuencia, los depósitos de origen marino son relativamente ricos en Boro, con algunas arcillas que contienen hasta 200 mg/kg; De manera que el contenido de Boro total en el suelo puede variar de 2 a 200 ppm, en que los valores mínimos se encuentran en suelos muy antiguos y lavados, y los valores superiores en regiones áridas o secas, donde se pueden alcanzar niveles muy altos del orden de 1.000 ppm, lo que puede redundar en niveles solubles elevados que causan problemas en los cultivos (Fassbender y Bomemisza, 1987).

La fracción mineral más importante del Boro en los suelos es la Turmalina, debido a su resistencia a la meteorización.

El Boro orgánico es otra fracción importante del Boro total. En general, los suelos superficiales con más materia orgánica contienen más Boro que los subsuelos, como lo observó Weir en Jamaica, citado por Fassbender y Bomemisza (1987).

El Boro soluble o disponible, según Berger y Pratt, citado por Fassbender y Bomemisza (1987), varía entre 0,05 y 5 mg/kg (ppm) en las capas superficiales de los suelos de regiones húmedas. Consiste en Ácido Bórico, boratos, y compuestos orgánicos solubles o que se integren al retículo cristalino de las arcillas (Hingston, citado por Fassbender y Bomemisza, 1987).

Según Evans y Sparks, citado por Fassbender y Bomemisza (1987), menos del 5% del Boro total en los suelos se encuentra, en general, disponible para las plantas. Es la denominada **forma de solución de Boro en el suelo**, cuya principal molécula se podrá encontrar bajo la forma no disociada de **Ácido Bórico H_3BO_3** , o como **anión borato $B(OH)_4^-$** , en que la formación de uno u otro compuesto químico depende de las condiciones del pH del suelo. La forma predominante es la no disociada, como Ácido Bórico. Por esta razón, el Boro puede ser lavado o lixiviado en los suelos, sobre todo a $pH < 7$ (Figura 1). La segunda forma es la de ácido disociado con un grupo OH, lo que ocurre en condiciones alcalinas, en que alcanza el máximo a un $pH = 9,0$ (Domínguez, 1997; Alarcón, 2002), y se encuentra absorbida sobre arcillas (illitas) y óxidos hidróxidos de hierro, aluminio y magnesio.

De acuerdo a lo anterior, se considera que el factor que gobierna la disponibilidad de Boro en el suelo es la **lixiviación**. Sin embargo, la absorción del Boro por las plantas depende solamente de su actividad (concentración) en la **solución de suelo** (Yamada, 2000).



Correa et al. (1985), citado por Yamada (2000), estudiaron la respuesta de café a la aplicación de Boro en dos suelos latosotes, uno arcilloso (75 % de arcilla) y otro arenoso (11 % de arcilla) y llegaron a las siguientes conclusiones, muy interesantes desde el punto de vista práctico: la absorción de Boro por las raíces del café está en función del contenido de Boro en equilibrio en la solución del suelo (alrededor de 0,6 - 0,8 ppm), y no del Boro adsorbido por el suelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efectos del Boro en el suelo (adicionado, adsorbido y extraído) en el desarrollo de las plantas y en la concentración de Boro en las hojas de caféto (Fuente: Correa et al. (1995), citado por Yamada (2000)).

Boro extraído					
Boro adicionado	Boro absorbido	Extracto de saturación ¹	Extracción HC1 0,05 N	Peso seco total	Boro foliar
gr/ml	mg/kg	gr		gr/planta	ppm
LR Distrófico, 75% arcilla					
0	1,55	0,07	0,14	18,7	52
0,5	2,70	0,30	0,58	21,8	60
1,0	4,25	0,60	0,69	23,6	88
2,0	7,30	0,80	0,70	23,0	95
4,0	9,70	1,22	1,16	18,3	107
8,0	15,55	3,00	1,44	10,3	253
LAO Distrófico, 11% arcilla					
0	0,50	0,16	0,45	11,4	60
0,5	0,80	0,60	0,41	12,7	86
1,0	1,15	0,68	0,80	15,9	92
2,0	2,05	0,77	0,90	21,5	102
4,0	2,80	1,93	1,10	16,9	172
8,0	3,70	3,19	1,43	11,1	243

¹ Resultados expresados en peso seco

El Boro disponible se determina extrayéndolo con **agua caliente**, según la técnica de Berger y Truog (citado por Fassbender y Bomemisza, 1987), o con intercambiadores de aniones. El Boro extraíble con agua caliente, según Ryan (citado por Fassbender y Bomemisza, 1987), frecuentemente se correlaciona bien con los niveles foliares como fue observado en diferentes cultivos tales como trigo, maíz, bananos y naranjos sobre suelos calcáreos. El Boro asimilable (extraíble con agua caliente) consiste básicamente en Ácido Bórico, y representa una pequeña cantidad respecto al Boro total (entre 0,1 y 3 ppm). Finck, 1988.

El Boro disponible está sujeto a **procesos de adsorción** por el complejo coloidal del suelo, cuyas principales formas se detallan a continuación.

3.1.1 Adsorción de Boro: formas y factores

Se cree que las 4 formas de adsorción de Boro se presentan principalmente: (citado por Bonilla et al., 1994; Fassbender y Bomemisza, 1987)

- Formando parte de la estructura cristalina de los minerales, tales como óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio.
- Retenido o absorbido por coloides de los suelos, tales como vermiculita, caolinita y montmorillonita.
- Asociado a los hidróxidos de magnesio (Ellis y Knezek, 1972; citado por Bonilla, 1994) y carbonato de calcio (CO₃Ca).

d) Asociado a la materia orgánica, ya que la actividad de los microorganismos juega un papel importante en la disponibilidad de Boro (Sillanpa, 1979; citado por Bonilla et al., 1994). Además, el Boro asimilable está preferentemente concentrado en las capas superficiales de los suelos bien drenados, donde está íntimamente ligado a la materia orgánica (Alarcón, 2002).

Entre los factores que más influyen sobre la disponibilidad de este elemento son: la textura, el pH y la humedad del suelo, los cuales serán detallados a continuación.

Factores que Controlan la Disponibilidad de Boro durante el Proceso de Adsorción

La disponibilidad del Boro en la solución de suelo se afecta por aquellos factores relacionados con el clima, material pariental, interacción con otros elementos, y también por factores del suelo que favorecen su fijación, que a continuación se detallarán, tales como: pH, presencia de hidróxidos, materia orgánica, textura del suelo, humedad y temperatura.

3.1.1.1 pH del Suelo

Como lo indica la Figura 12, en los extremos del pH ácido de un suelo disminuye la disponibilidad de Boro. Para el caso de pH alto, mayor a 7,5, el Boro disminuye hasta cierto punto donde su disponibilidad es mayor. Idealmente el pH del suelo debería estar dentro del rango de pH 5 - 7,5 para asegurar la fácil absorción de Boro por las raíces.

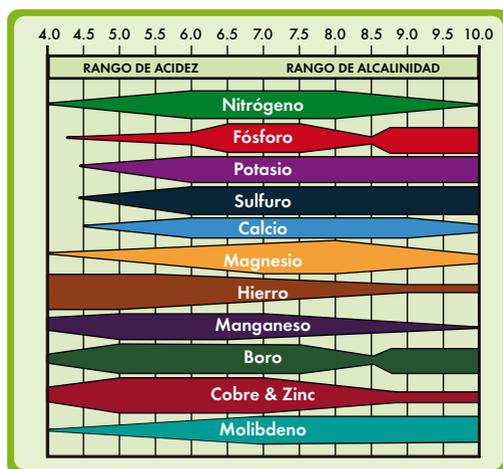


Figura 12. A una cifra de pH > 6,5, los micronutrientes tales como hierro, zinc, manganeso, cobre, Boro disminuyen su disponibilidad, la cual se muestra en esta figura con mayor o menor anchura de cada elemento en relación al pH del suelo (Fuente: Yara, 2003, en Planmaster de Uva de Mesa; citado por Palma, en SQM (2006), en Crop kit de Uva de Mesa, material técnico de SQM Industrial S.A.).



Los procesos de adsorción dependen del pH, que disminuye en el medio ácido, como lo ilustra la Figura 13, donde se observa el efecto de los diferentes suelos.

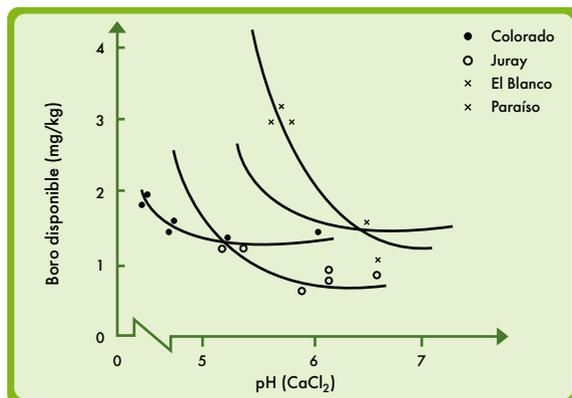


Figura 13. Efecto del pH sobre el Boro disponible (Fuente: Según Rímolo; citado por Fassbender y Bomemisa, 1987).

El pH es uno de los factores que influye más significativamente en la disponibilidad del Boro en las plantas (Figura 14).

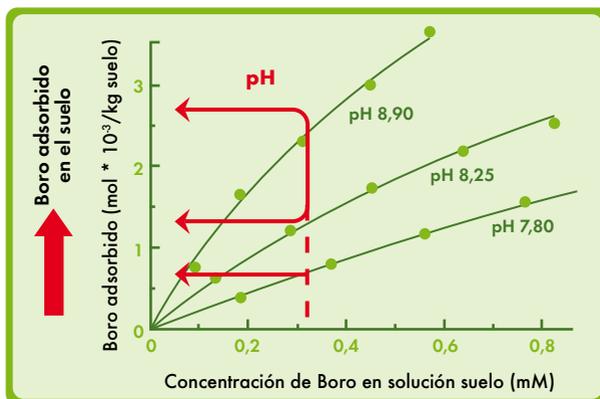


Figura 14. La adsorción de Boro es incrementada con el aumento de pH en el suelo e incremento de concentración de Boro en la solución de suelo (Fuente: Mengel, K and E.A. Kirkby. 1987).

Entre las prácticas agrícolas, **la que más influye sobre la adsorción del Boro es el encalado**, como se observa en la Figura 15, en relación con tres diferentes suelos de la vertiente atlántica de Costa Rica. Esto evidencia el apreciable aumento de la adsorción del Boro con el encalado, lo que explica por qué el mismo puede conducir a deficiencias del elemento. La reducción en la disponibilidad de Boro como resultado del encalado ha sido observada por Scott en diversos suelos. Este investigador encontró que tanto el encalado como la reducción de la humedad del suelo aumentan la adsorción y reducen la difusión del Boro en el suelo (Goldberg, 1993, citado por Fassbender y Bomemisza, 1987). Además, se ha pensado que el encalado puede crear una serie de competencias para el Boro al estimular la actividad de los microorganismos del suelo (Buckman y Brady, 1997). Fassbender y Bomemisza, 1987).

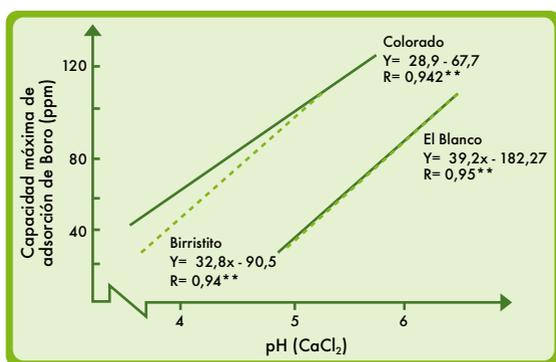


Figura 15. Efecto del encalado sobre la capacidad máxima de adsorción del Boro (Fuente: Según Rímolo, citado por Fassbender y Bomemisza, 1987).

3.1.1.2 Presencia de Hidróxidos

La fijación de este Boro por los hidróxidos de hierro y aluminio y por arcillas aumenta con el pH. La fijación es mínima con un pH cercano a 5.0 y máxima con un pH entre rango 8.0 y 9.0. Este hecho hace que los suelos calizos sean propensos a mostrar deficiencias de Boro, y más si existe un exceso de arcilla, debido a la fuerte absorción del ión borato (Bonilla et al., 1994).

Los óxidos de aluminio fijan más Boro que los óxidos de hierro. Así, a pH = 6,0 la adsorción de Boro es aproximadamente 20 veces mayor en los óxidos de Al que en los óxidos de Fe (figuras 16 a y 16 b). Así tenemos que en la Figura 16 a es posible estimar que de una solución con 5 ppm de Boro a pH = 6 se adsorben 10 mg de B/kg de óxido de hierro. Esto equivale a la adsorción de 0,2 kg de Boro por cada unidad de porcentaje de óxido de hierro presente en el suelo (suponiendo que 1 ha = 2.000 toneladas de suelo). Aplicando el mismo análisis para la Figura 16 b, se puede determinar que la adsorción llega a 4 kg de Boro por unidad de porcentaje de óxido de aluminio en el suelo.



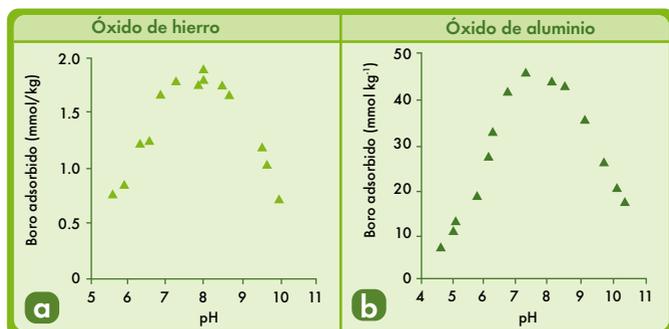


Figura 16. Adsorción del Boro por óxido de hierro (16a) y aluminio (16b) en soluciones que contienen 5 ppm de Boro (Fuente: Goldberg y Glaubig, 1985; citado por Yamada, 2000).

3.1.1.3 Tipos de Texturas:

En general, los suelos arenosos, con textura ligera, contienen menos Boro asimilable que los suelos arcillosos. Además, el Boro es fácilmente lavable de los suelos de textura ligera o arenosa. Por otro lado, cuanto mayor es el contenido de arcilla, mayor es la adsorción. Los suelos arcillosos presentan distintos niveles de fijación de Boro, en que las arcillas con estructura micácea como la vermiculita son las que tienen mayor habilidad para fijar Boro, superior a la caolinita, la que a su vez es mayor que la montmorillonita y esta última que la illita (Hington, 1964; Ellis y Knezek, 1972, citado por Bonilla et al., 1994; Yamada, 2000). Ver Figura 17.

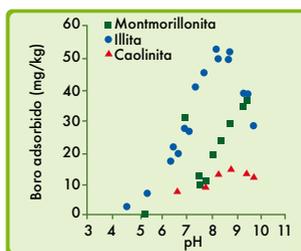


Figura 17. Adsorción de Boro en diferentes arcillas en soluciones que contienen 2 ppm de Boro (Fuente: Hington, 1964, citado por Goldberg, 1997 en Yamada, 2000).

3.1.1.4 Clima y Humedad en el Suelo

En zonas áridas, donde la humedad es baja, se puede presentar una acumulación excesiva del Boro en los horizontes superficiales. En cambio, en zonas de alta pluviometría, las lluvias fuertes pueden lavar el Boro del suelo provocando lixiviación, sobre todo en suelos ácidos y de textura gruesa (arena). En condiciones de sequía, donde la mineralización de materia orgánica disminuye, las deficiencias de Boro se acentúan por las siguientes razones (Bonilla et al., 1994):

- a) Reducción en la velocidad de descomposición de la materia orgánica del suelo.
- b) Penetración de las raíces a capas profundas pobres en materia orgánica.
- c) Aumento en la fijación de fósforo, lo que acentúa las exigencias del Boro.
- d) Lo primero que se seca son los horizontes superiores, donde se encuentra la mayor parte del Boro aprovechable y la mayor parte del sistema radicular (Bonilla et al., 1994).

3.1.1.5 Materia Orgánica

Una gran parte del Boro es retenida por la materia orgánica, debido a la unión del Boro con los productos intermedios de su descomposición, y es temporalmente no asimilable por las plantas. La capacidad de fijación de Boro por humus es gracias a reacciones con hidroxidocompuestos de la materia orgánica (Bonilla et al., 1994).

3.1.1.6 Temperatura

Altas temperaturas acompañadas de altas intensidades lumínicas acentúan las deficiencias de Boro, por una alta transpiración debida a una mayor actividad fotosintética. Las exigencias en Boro son inferiores en presencia de intensidades luminosas bajas (Alarcón, 2002).

3.1.2 Interacciones del Boro con Otros Elementos

Existe sinergia entre las absorciones de Boro con macro y micro elementos tales como calcio, fósforo, potasio, magnesio y zinc, siempre y cuando no estén en exceso.

3.1.2.1 Interacciones con el Calcio

El calcio y el Boro son nutrientes de fundamental importancia para el desarrollo de las yemas apicales y de las puntas de las raíces. Sin estos nutrientes se paraliza el crecimiento de nuevas brotaciones y el de nuevas raíces (Catalá, 2005; Yamada, 2000).



La corrección de los niveles deficientes de calcio a lo largo del perfil del suelo, por medio del encalado o la aplicación de yeso, es una práctica establecida. Debido a la inmovilidad del calcio en el floema, es necesario corregir el contenido de calcio en todo el perfil del suelo hasta donde llega el desarrollo radicular. Esto se puede hacer fácilmente mediante la aplicación de yeso. El encalado tiene el mismo efecto, pero solamente se afectan las capas superficiales del perfil del suelo. Sin embargo, en siembra directa, el efecto es el mismo que el del yeso pero de forma un poco más lenta.

El calcio y Boro deben estar balanceados para un correcto crecimiento de las plantas. Las plantas no pueden metabolizar adecuadamente el calcio cuando el Boro se encuentra en niveles bajos, y viceversa. En suelos con altas concentraciones de calcio se ve aumentada la posibilidad de generar deficiencias de Boro, debido a que se aumenta la absorción de calcio por sobre el Boro. En el desarrollo normal de la planta se aprecia un balance adecuado calcio/Boro y potasio/Boro. Este balance depende de cada especie. Se ha planteado un intervalo general para la relación calcio/Boro, con valores de 80: 1 a 1.200:1, y, para la relación potasio/Boro, de 25:1 a 50:1 (Bonilla et al., 1994)

La relación en la absorción de Boro y calcio puede afectar la dinámica nutricional de uno con respecto al otro. Elevadas concentraciones de calcio pueden provocar la precipitación de borato de calcio, y la coprecipitación de Boro con carbonato de calcio.

En el mercado de las flores de exportación, específicamente en el cultivo del clavel, se presenta una deficiencia de Boro cuya sintomatología es una partidura en la zona de inserción foliar (figuras 18 a y b) (Palma, 2007). Estudios han demostrado que la aplicación de calcio en conjunto con Boro soluciona el problema. Esto se debería a que la movilidad del calcio está permitida por la presencia del Boro. Vale decir, el Boro permite que el calcio llegue a los tejidos, especialmente con activo crecimiento y demanda de calcio. En consecuencia, hay que corregir las relaciones calcio/Boro para controlar rajaduras en tallos, como también el manejo del riego. En la figura 18, sobre diferentes variedades de claveles, se muestra que contenidos bajos de Boro y calcio están relacionados con mayor presencia de rajaduras en tallos (Catalá, 2005).

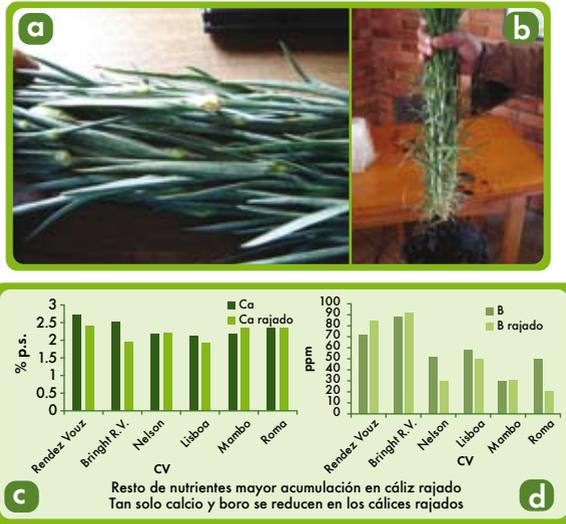


Figura 18. Rajado de cáliz del clavel ocasionado por desbalance calcio/Boro (a y b), muestran que mayores niveles de rajadura son observadas sobre tejidos con bajos niveles de calcio y Boro (c y d) (Fuentes: Catalá, 2005; Palma, 2007).

Además, a medida que aumentamos la concentración de Boro y de calcio en las raíces como solución nutritiva, nos encontramos con incrementos de sistemas radiculares (ver Figura 19, donde se aprecia que niveles apropiados de Boro permiten raíces sanas, o sea de mayor eficiencia en absorción de nutrientes y mayor producción, Catalá, 2005).

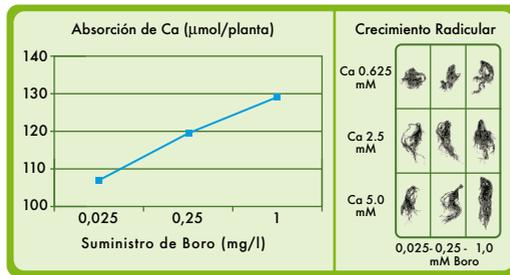


Figura 19. Efecto del calcio y Boro en el crecimiento de las raíces (Fuente: Catalá, 2005).



La presencia del calcio en los tejidos nuevos es fundamental, pero debe estar acompañada de buena disponibilidad de Boro en sus tejidos (Figura 20), dada la necesidad de ambos elementos para la formación del complejo bis diol en la pared celular (ver Capítulo 2).

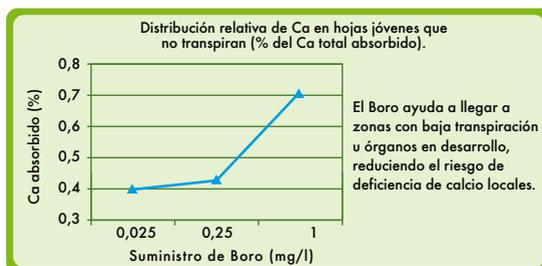


Figura 20. Existe una mayor disponibilidad de calcio absorbido en tejidos nuevos cuando es incrementado el contenido foliar de Boro, ya que este último ayuda al calcio a llegar a zonas de baja transpiración celular u órganos en desarrollo, lo que reduce el riesgo de deficiencias locales de calcio (Fuente: Catalá, 2005).

3.1.2.2 Interacciones con el Nitrógeno

En general la necesidad de Boro aumenta cuando existen niveles altos de nitratos (Cruz, 2005). Al incrementar el nitrógeno desde 100 a 260 kg N/ha sin presencia de Boro, los porcentajes de flores afectadas por rajado en el clavel disminuyen. Pero si se suministra Boro en dosis de 0,5 ppm al suelo, el desorden nutricional se corrige, y disminuye aún más el porcentaje de rajado al incrementar la dosis de nitrógeno (Figura 21).

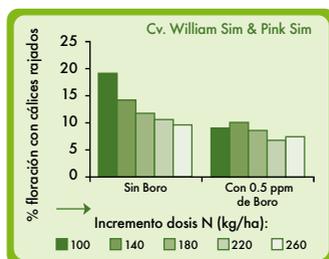


Figura 21. Efecto del nitrógeno sobre el rajado del cáliz en claveles (Fuente: Adams et al., 1979; citado por Catalá, 2005).

3.1.2.3 Interacciones con el Fósforo

Cabe señalar que, en suelos ricos en fósforo, la absorción de Boro por las plantas tiende a aumentar (Bonilla et al., 1994).

3.1.2.4 Interacciones con el Potasio

La absorción del potasio aumenta con la presencia de Boro. En cambio, casi no ocurre absorción de potasio en ausencia de Boro. Es decir, existen muchos casos de deficiencia aparente de potasio que pueden ser de hecho deficiencias de Boro (Yamada, 2000).

3.1.2.5 Interacciones con el Zinc

El Boro y el zinc son esenciales para el funcionamiento óptimo de la ATPasa y de los sistemas de óxidos y reducción de la membrana plasmática. Es decir, sin Boro se puede reducir la eficiencia de zinc y viceversa (Yamada, 2000). Además, niveles apropiados de Boro y zinc ejercen un efecto positivo al favorecer el transporte de calcio hacia los frutos (Shear, 1980; Granelli, 1990). Lo mismo ocurre con la promoción de raíces al haber más Boro y zinc (Figura 22). Sin embargo, una planta con deficiencia de zinc puede absorber grandes concentraciones de Boro, lo que puede ocasionar toxicidad. De la misma manera, la deficiencia de zinc acentúa la toxicidad del fósforo debido a un deterioro de la función de la membrana de la raíz (Alloway, 2004).



Figura 22. Efecto del Boro sobre la promoción del crecimiento radicular en plantas (Fuente: Catalá, 2005).

Boaretto et al. (1997), citado por Yamada (2000), advirtieron que la falta de correlación entre el contenido de Boro en las hojas y el rendimiento se debe a la dificultad de remoción del Boro en la cutícula foliar o ligado a la capa péptica de la pared celular (Figura 23).

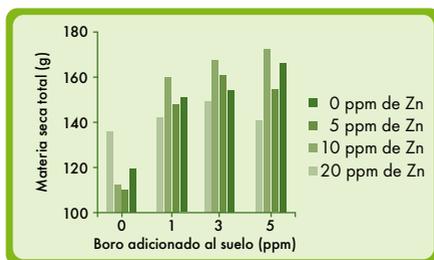


Figura 23. Materia seca total del café en función de los niveles de Boro y zinc adicionados al sustrato (Fuente: Yamada, 2000).

Lima Filho (1991), citado por Yamada (2000), estudió la interacción entre Boro y zinc, y observó que el aumento en producción de materia seca del café como respuesta a dosis crecientes de zinc ocurría tan pronto como se elevaba el contenido de Boro en el suelo. Es decir, la respuesta al zinc dependía de un contenido mínimo de Boro en el suelo. Las mejores respuestas al zinc se obtuvieron con los tratamientos de 3 y 5 ppm de Boro en el suelo (Figura 24).

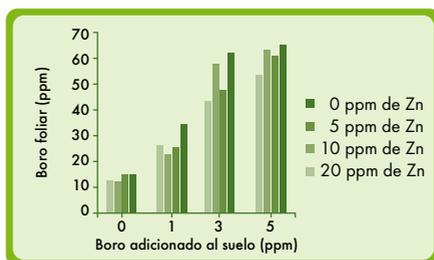


Figura 24. Contenido foliar de Boro en el café en función de los niveles de zinc adicionados al sustrato (Fuente: Yamada, 2000).

Por último, en el siguiente Cuadro 4 se muestran las concentraciones típicas de diferentes elementos, incluyendo el Boro en suelos y plantas en relación con los otros macro y micro elementos, destacándose que el Boro como microelemento es demandado en baja cantidad.

Cuadro 4. Concentraciones típicas de elementos en suelos y tejidos (ppm) (Fuente: Ensenat, 2002. Microelementos en la Agricultura. Material Técnico Ciba, España).

Concentraciones Típicas (ppm)		
Elementos	Plantas	Suelo
B	15	20
Ca	10,000	5,000
Cu	10	5
Fe	60	35,000
Mg	5,000	4,000
Mn	50	500
Mo	1	1
N	20,000	1,000
P	1,500	600
K	30,000	15,000
S	5,000	500
Zn	30	10

3.2 Boro ¿Móvil o Inmóvil en los Tejidos de la Planta?

Los mecanismos de extracción y el transporte del Boro dentro de los sistemas biológicos son temas que los agricultores aún no tienen claro. Ello se debe a la falta de metodología adecuada en la medición de la extracción de Boro en concentraciones fisiológicas relevantes. No obstante, estudios recientes han demostrado que la extracción de Boro por parte de las raíces se comporta de acuerdo a la condición del medio y la concentración de Boro en el suelo. Así, tenemos dos situaciones de análisis (Brown, 2007):

- a) Cuando el Boro está en niveles que van de suficiente a tóxicos en el suelo, entra a las raíces por difusión junto con la extracción de agua, mediante un mecanismo de transporte pasivo.
- b) Pero cuando las cantidades de Boro son limitadas, se cree que las plantas deben tener un mecanismo que potencia la extracción de Boro. Este mecanismo requiere de energía, y por lo tanto será restringido, ya que reduce la fotosíntesis y es afectado por temperaturas bajas en los suelos. En este caso se habla de un mecanismo de transporte activo (Brown, 2007). Así, existe la teoría de que el Ácido Bórico inicialmente es absorbido de manera pasiva (difusión) y seguido por una absorción activa (Loué, 1988; citado por Bonilla et al., 1994).

En ambos casos, la absorción de Boro y su movilidad desde las raíces hacia los diferentes órganos, (independientemente de cuál transporte se trate) es vía xilemática. Esta vía depende del ritmo de transpiración, el cual ejerce una influencia decisiva sobre el transporte de este elemento hasta las partes altas de la planta. En caso de deficiencia, los contenidos en los tejidos más jóvenes decrecen rápidamente. Se admite que, más que un elemento móvil o inmóvil en el interior de la planta, **el Boro es transportado vía xilema, pero se retransporta con dificultad vía floema (al igual que**



el calcio, si bien es cierto que es más móvil que éste), con lo que no emigra desde las hojas hasta los nuevos puntos de crecimiento (frutos, meristemas, hojas en formación), donde existe la necesidad de un suministro regular de Boro y los demás nutrientes (citado por Alarcón, 2002).

Cuando es extraído por las raíces de las plantas, el movimiento del Boro **depende mucho de cada especie**. Desafortunadamente, el Boro es inmóvil en el floema en la mayoría de las plantas y, por esta razón, el nutriente debe tener presencia en el suelo para facilitar el crecimiento radicular. En otras palabras, para que se desarrolle un buen sistema radicular es preciso que el Boro esté en cantidades adecuadas en el sitio mismo donde crecen las raíces (junto con el calcio) (Yamada, 2000). De hecho, en muchas especies la retaslocación de Boro de tejido en tejido es muy baja, y esencialmente la única fuente de Boro es a través de la extracción directa desde el suelo o aplicaciones foliares de Boro soluble (Brown, 2007).

En general, el Boro es inmóvil en el floema, aun cuando existen excepciones como las plantas que producen **polioles como sorbitol, manitol, dulcitol**, que acomplejan o quelatan el Boro, tornándolo móvil en el floema. El único mecanismo primario para que se produzca el transporte de Boro en la planta es a través de estas azúcares simples como un metabolito fotosintético primario, pues un complejo poliol-Boro-poliol se forma en los tejidos fotosintéticos y es transportado en el floema hacia zonas de acumulación activa, como los meristemas vegetativos o reproductivos (citado por Brown, 2007). Ejemplos formadores de estos complejos son el maní, manzanos y nectarines, entre otros (Yamada, 2000; Brown, 2007). Los tejidos en formación presentan una mayor concentración de Boro, presumiblemente debido a la alta demanda de sorbitol por parte de este tipo de tejido. Brown, et al., (1994), demostraron que la acumulación de Boro en frutos de almendros podría llegar a ser hasta 10 veces superior que la concentración encontrada en las hojas de la misma planta creciendo bajo condiciones de alta disponibilidad de Boro. Esto se debe a que los tejidos comparten la capacidad de ser destino de los carbohidratos, y no tienen conexiones xilemáticas ni tasas de transpiración alta. El transporte de Boro en complejos con el sorbitol puede ser la explicación de estos resultados (Sosa, 2000).

En especies que no producen cantidades significativas de polioles, el Boro, una vez transportado hasta la hoja a través del flujo transpiratorio, no puede reentrar en el floema, dando como resultado una completa inmovilidad de este elemento en la hoja. En estas especies, el Boro se acumula en las partes terminales de las venas de las hojas. Con frecuencia, se encuentra un gradiente abrupto en la concentración de Boro en la hoja, de modo que la concentración en el pecíolo o nervadura central es menor que en la lámina media, y ésta es a su vez menor que en los márgenes y ápices. Por ejemplo, en nogal, donde el Boro es inmóvil, la mayor acumulación se presenta en el ápice y en el margen de las hojas, como se aprecia en la Figura 25. (Brown, 1998).

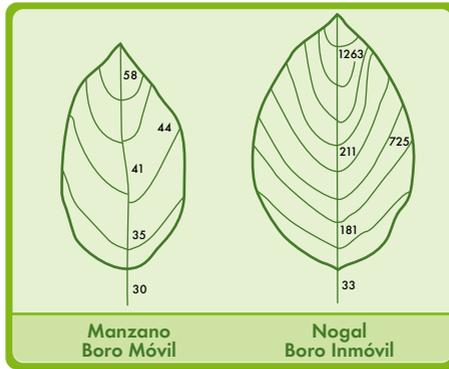


Figura 25. Concentración de Boro en la hoja en crecimiento de manzanos y nogales. Las hojas fueron recolectadas al final de la temporada de crecimiento. Las dos especies fueron desarrolladas bajo las mismas condiciones de crecimiento e irrigación (Fuente: Brown y Hu, 1998).

En el siguiente Cuadro 5, la hoja del manzano muestra que concentraciones de Boro fueron significativamente menores que en la de nogal, y hay muy poca diferencia en la acumulación a lo largo de la hoja. La distribución uniforme de Boro en el tejido del manzano no tiene correlación con el patrón de las nervaduras de las hojas, y no concuerda con la hipótesis de que la distribución de Boro está determinada exclusivamente por la transpiración (flujo xilemático). La misma distribución se observa en almendro, durazno y ciruela, sugiriendo que la distribución de Boro en estas especies no está gobernada por la transpiración sino que por su movilidad en el floema (citado por Brown - Hu, 1998). La evidencia de la movilidad o inmovilidad del Boro en el floema también se percibe a través de la distribución del Boro dentro de los diferentes órganos de la planta. En condiciones de campo, por ejemplo, el pistacho y el nogal contienen la mayor concentración de Boro en las hojas maduras, y menor concentración en el fruto y en el tejido de la semilla. En almendro y manzano, cultivados en el mismo sitio, se encontró mayor concentración de Boro en la cáscara externa y en la piel del fruto, y menor concentración en las hojas.

Cuadro 5. Concentración de Boro (ppm en base de materia seca) en hojas y frutos de 4 especies frutales (Fuente: Brown y Hu, 1998).

Concentración de Boro (ppm en base a materia seca total) en hoja y órgano de la fruta para 4 especies de árboles				
Órgano	Boro móvil		Boro inmóvil	
	Almendro	Manzano	Pistacho	Nogal
Hoja	42	41	130	295
Cáscara	170	51(piel)	33	40
Fruta	34	34(pulpa)	2	9
Semilla	43	54(corazón)	1	4



Respecto a especies frutales que producen polioles, estudios señalan la aparente movilidad de Boro en 3 géneros que están dentro de la familia Rosáceas. Son los *Pyrus*, *Prunus* y *Malus*, los cuales tienen una característica en común, que es la producción de sorbitol, lo que facilitaría el transporte de Boro y a su vez impide la formación de complejos inmóviles dentro de la hoja. Así tenemos que la movilidad de Boro en estas especies ha sido demostrada por Picchioni et al. (1995) y Hanson (1991), citados por Sosa (2000), quienes observaron que las aplicaciones foliares de Boro son rápidamente absorbidas por las hojas de cerezos, durazneros, manzanos y perales, y transportadas fuera de las hojas maduras hacia los tejidos de los frutos y flores en desarrollo, como se puede observar en los datos presentados en el siguiente Cuadro 6:

Cuadro 6. Absorción y exportación de Boro marcado aplicado al follaje, 24 horas después de la aplicación (Fuente: Picchioni (1995), citado por Sosa (2000)).

Especies	Cantidad retenida (%)		Exportación (% de la cantidad absorbida)
	Absorción	Exportación	
Manzanos	88	79	90
Durazneros	92	74	81
Perales	96	77	80
Cerezos	96	76	79

Nota: Datos están expresados en % de Boro aplicado, retenido por la sup. de la hoja.

La concentración de Boro, en hojas de diferente edad de la misma especie, proporciona evidencia de la movilidad de este elemento. Concentraciones más altas de Boro en hojas viejas o maduras, comparadas con las concentraciones en hojas más jóvenes, muestran la inmovilidad. Por el contrario, concentraciones más altas de Boro en hojas jóvenes son un indicativo de movilidad del Boro (Cuadro 7).

Cuadro 7. Concentración de Boro (ppm de materia seca) en los brotes de varias especies vegetales con respecto a su movilidad (Fuente: Brown y Hu, 1998)

Especies	Base	Medio	Ápice	Observaciones
Pecana	303	119	30	B-inmóvil
Tomate	721	318	94	B-inmóvil
Frutilla	512	176	68	B-inmóvil
Nogal	304	127	48	B-inmóvil
Manzano	50	56	70	B-móvil
Damasco	45	60	81	B-móvil
Peral	42	57	62	B-móvil
Apio	32	49	104	B-móvil
Uva	74	55	88	B-móvil
Níspero	72	101	162	B-móvil
Olivo	42	51	56	B-móvil
Durazno	53	57	208	B-móvil
Granado	21	20	111	B-móvil

En consecuencia, el Boro es inmóvil en el floema de pistachos, higos, pecanos, tomate, fresa y nogal, y móvil en el floema de manzana, albaricoque, pera, uva, melocotón, apio y aceituna. Esta diferencia en el sitio de acumulación de Boro en los tejidos determina dónde aparecen los síntomas de toxicidad de Boro dentro de la planta. La clasificación de especies de acuerdo a su movilidad e inmovilidad se aprecia en los siguientes cuadros 8 y 9. Estudios señalan un escaso transporte del Boro en pistachos, higos y nogales aún cuando las concentraciones hayan alcanzado los niveles más altos. Pueden ser explicadas debido a que en estas especies, y presumiblemente en otras que exhiben inmovilidad del Boro, pueden tener una muy alta capacidad para fijar Boro, lo que hace que éste se fije rápidamente, tanto el proveniente de aplicaciones foliares como el obtenido naturalmente desde el suelo, impidiendo así su transporte.

Cuadros 8 y 9. Clasificación de movilidad e inmovilidad del Boro en las plantas (Fuente: <http://www.borax.com/agriculture/files/an204.pdf>).

Boro móvil			Boro inmóvil		
Cultivos agronómicos	Vegetales	Cultivos de frutas y frutos secos	Cultivos agronómicos	Vegetales	Cultivos de frutas y frutos secos
Canola (limitada)	Espárrago Fríjol Brócoli Zanahoria Coliflor Apio Cebolla Arveja Rábano Nabo	Almendra Manzana Damasco Guinda Café Uva Nispero Nectarino Olivo Duraznero Peral Ciruela Granada	Alfalfa Maíz Algodón Maní Sorgo Remolacha Tabaco Trigo	Fréjol Lechuga Papa Tomate	Higo Pecano Pistacho Fruittilla Nogal

También, además de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, hay otros factores que pueden incidir en la concentración de los elementos nutritivos en las hojas (SQMC, 2002):

- **La variedad o el portainjerto.** Dentro de una misma especie.
- **Vigor de las plantas.** La falta de vigor puede aumentar la concentración de nutrientes; un vigor excesivo tiende a diluirlos. Ambos casos suelen observarse especialmente respecto del nitrógeno.
- **Manejo del suelo del huerto o viñedo.** En general, se ha observado una mayor concentración de nitrógeno y potasio en las hojas cuando el control de la vegetación entre las hileras se efectúa mediante herbicidas que cuando se hace en forma mecánica (rastrajes). Mediante este último sistema se han observado concentraciones más altas que con el control a través de siegas.
- **Carga frutal.** Una carga excesiva de fruta puede disminuir la concentración foliar, principalmente de potasio.
- **Sequía.** En viñas y huertos no regados puede incidir en menor concentración foliar principalmente de potasio y Boro, debido a que las raíces pasan a nutrirse más del subsuelo, generalmente más pobre en potasio y Boro, que del suelo superficial, por estar este último más seco.



- **Enfermedades o Plagas.** Pueden provocar daño en las raíces, que impidan la normal absorción de nutrientes, como se ha observado con el potasio cuando hay daño de nemátodos o de larvas de "burrito" *Naupactus xanthographus* (Germar). Daño en órganos aéreos pueden limitar el transporte de nutrientes a las hojas.
- **Intensidad de la poda y ocurrencia de heladas.**
- **Características climáticas de la temporada.**
- **Características edáficas de los suelos locales.**

En consecuencia, a modo de resumen de este capítulo, se consideran de alta movilidad en el floema elementos tales como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, y, de baja movilidad, elementos tales como calcio, cobre, hierro; manganeso y zinc. En el caso del elemento Boro, depende de la especie: manzana; almendra (alta movilidad); pistacho, nogal (baja). Ver Figura 26.



Figura 26. Movilidad de Elementos Nutritivos. El Boro se considera inmóvil dependiendo de la especie (Fuente: J. Baier and V. Baierova. 1999. In Proceedings of the 2nd workshop on foliar fert. p. 124; Eds. El Fouly et al., Bangkok, Thailandia, citado por Holwerda, 2004).

4 Tablas que Facilitan el Manejo del Nivel Nutricional de Boro en las Plantas

El estrecho rango entre los umbrales de deficiencia y toxicidad (ver Capítulo 3) complica la dosificación racional del Boro (ver Capítulo 7) si no se efectúa con el apoyo de herramientas de diagnóstico efectivas, tales como los análisis de aguas, suelos y foliares (Rojas, 2004).

4.1 Niveles Críticos del Boro en Aguas

Las aguas se pueden clasificar según su contenido de Boro en tres grupos (Ortiz, 1997):

- a) **Aguas de bajo nivel de Boro:** son aquellas que contienen menos de 0.7 mg/l de Boro. Estas aguas no representan riesgo de toxicidad.
- b) **Aguas de Nivel medio de Boro:** son aquellas que incluyen en esta clase las aguas que contengan niveles entre 0,7 a 2 mg/l de Boro. Estas aguas pueden ocasionar toxicidad en cultivos sensibles.
- c) **Aguas con alto contenido de Boro:** son aquellas en que el contenido de Boro supera los 2 mg/l, Se recomiendan sólo para cultivos muy tolerantes.

El Cuadro 10 muestra la tolerancia de algunos cultivos al Boro en el agua de riego (Ortiz, 1997). Nótese que los rangos en las diferentes columnas van del nivel inferior de sensibilidad al mayor. Así tenemos por ejemplo que, para la primera columna de la izquierda, los cultivos más sensibles van de 0,3 mg/l, como es el aguacate o palto (línea inferior), hasta 1 mg/l como es la nuez (línea superior).



Cuadro 10. Tolerancia de algunos cultivos al Boro en el suelo (Fuentes: Adaptado de Domínguez, 1996; Pizarro, 1987, citado en SQMC, Libro Azul (2002); Ortiz, 1997. Los datos acompañados de asteriscos (*) corresponden a Ortiz (1997). Este autor entrega otra nomenclatura de tolerancia de cultivos al Boro (entre paréntesis en el cuadro).

Sensibles (0,3 a 1 mg/l Boro)	Semitolerantes (1 a 2 mg/l Boro)	Tolerantes (2 a 4 mg/l Boro)
1 mg/l B	2 mg/l B	4 mg/l B
Nuez pecana	Girasol (0,75 a 1)*	Tamarindo
Nogal Negro o Común	Papa	Espárrago (10 a 15)*
Topinambur	Algodón (6,0 a 10)*	Palma de las Canarias
Fréjol	Tomate	Remolacha (4,9)*
Olmo Americano	Rábano	Betarraga
Alcachofa	Arveja	Remolacha de huerta
Ajo (0,5 a 1,0)*	Pepino (1 a 2)*	Melón (2,0 a 4,0)*
Ciruelo	Rosa	Haba
Peral	Olivo	Alfalfa
Manzano	Cebada (3,4)*	Gladiolo
Vid	Trigo (0,75 a 1)*	Haba
Higuera	Maíz	Cebolla (0,5 a 0,75)*
Caquí de Virginia	Sorgo	Nabo
Cerezo	Avena (2,0 a 4,0)*	Repollo
Duraznero	Calabaza	Lechuga (1,3)*
Damasco	Pimiento morrón	Zanahoria
Zarzamora	Camote	tomate (5,7)*
Cítricos	Haba de Lima	Sorgo (7,4)*
Aguacate	Boniato	
0,3 mg/l B	1 mg/l B	2 mg/l B

También existen otras clasificaciones que agrupan con mayor detalle hasta 5 tipos de clases de acuerdo al nivel de Boro presente en las aguas (ppm). Se determinan tres categorías de cultivos para esos 5 diferentes rangos de Boro en las aguas. Así tenemos que en el cuadro 11 se aprecia la calidad de las aguas de riego en relación con su contenido en Boro (Fuente: Cadahía, 2000). Así, para la clasificación clase 1 de Boro en las aguas, tenemos tres categorías o rangos dependiendo del tipo de tolerancia del cultivo, si es sensible, semi tolerante o tolerante de acuerdo al nivel de < 0,33 ppm, < 0,67 ppm o < 1,0 ppm respectivamente.

Cuadro 11. Calidad de aguas de riego en relación con su contenido de Boro (ppm) (Fuente: Cadahía, 2000).

Calidad de aguas de riego en relación con su contenido en Boro			
Clase respecto al Boro	Cultivos sensibles ppm	Cultivos semitolerantes ppm	Cultivos tolerantes ppm
1	< 0,33	< 0,67	< 1,00
2	0,33 a 0,67	0,67 a 1,33	1,00 a 2,00
3	0,67 a 1,00	1,33 a 2,00	2,00 a 3,00
4	1,00 a 1,25	2,00 a 2,50	3,00 a 3,75
5	> 1,25	> 2,50	> 3,75

4.2 Niveles Críticos del Boro en Suelos

El análisis de suelo también puede ser una herramienta de diagnóstico de la disponibilidad de Boro, y muchas veces este diagnóstico puede indicar deficiencias o toxicidad susceptibles de interpretar con el apoyo de otros análisis complementarios, como el análisis de Boro de las aguas de riego, anteriormente mencionado (ver Sección 4.1). Rojas, 2004.

Las necesidades de Boro para los suelos pueden determinarse con relativa seguridad a partir del análisis de suelo. El Boro disponible se determina como Boro soluble en agua caliente, según el método (internacional extendido) de Berger y Truog, citado por Finck (1988). Los valores de referencia para los niveles de abastecimiento y para el abonado con Boro aparecen en el siguiente Cuadro 12.

Cuadro 12. Valores orientativos del contenido de Boro y su abonado en suelos minerales cultivados (valores unificados, según valores internacionales; Boro soluble en agua caliente, según Berger y Truog, citado por Finck, 1988) (Fuente: Finck, 1988).

Nivel abastecimiento	Contenido de Boro fácilmente disponible (ppm)		Valores orientativos para el abonado, kg B/ha			
	Suelos ligeros	Suelos medios y pesados	Suelos ligeros		Suelos medios y pesados	
			Remolacha alfalfa	Maíz, col raps y papa	Remolacha alfalfa	Maíz, col raps y papa
A	0,1 - 0,3	0,1 - 0,4	1,5	1	2,5	1,5
B	0,31 - 0,6	0,41 - 0,7	1	0,5	1,5	0,7
C	0,6 - 1,1	0,71 - 2,0	0 - 0,5	0	0 - 1	0
D-E	1,2	2,1	0	0	0	0

No obstante lo anteriormente descrito, los niveles críticos de Boro extraído con agua caliente no se pueden aplicar universalmente, pues dependen del tipo de suelo y de los cultivos. En varios países se considera nivel crítico bajo de Boro en los suelos cuando se encuentra bajo 1 ppm, por un déficit del suministro de este elemento para el normal crecimiento en las plantas. Puede esperarse deficiencia de Boro cuando los suelos arcillosos contienen menos de 0,8 ppm, los de textura media menos de 0,5 ppm y los suelos arenosos menos de 0,3 ppm. Véase en el Cuadro 13. (Bonilla et al., 1994).

Cabe destacar que la disponibilidad del Boro en los suelos agrícolas tiene cierta dinámica, por todos los factores tanto del suelo como de los sistemas biológicos, y oscilan entre 0,1 y 3 mg/kg. Valores inferiores a 0,1 mg/kg de suelo solubles al agua caliente se consideran bajos. El tipo de arcilla y el pH del suelo resultan ser unos de los determinantes de más importancia en la disponibilidad del Boro si no se considera la extracción por los cultivos. Así, las arcillas tipo illitas adsorben más Boro en el rango de pH de los suelos agrícolas, que van de 5,5 a 6,5; las montmorillonitas adsorben importantes cantidades en suelos de pH alcalino. Los menores valores de adsorción se producen en suelos dominados por arcillas del tipo caolinitas, por ejemplo, los suelos del secano costero, de pH generalmente más ácido (Bonilla et al., 1994). Por otro lado, los niveles obtenidos bajo el método de extracción por cloruro de calcio, (CaCl₂ determinación colorimétrica), normalmente utilizada en suelos del Sur de Chile (del tipo orgánicos y trumaos) son mostrados en cuadro 13 (Inia, 2008).



Cuadro 13. Niveles críticos utilizados para el Boro en los suelos bajo la metodología de agua caliente, fosfato monobásico y extracción con cloruro de calcio (CaCl₂) (Fuentes: Inia, 2008; Lora 1981 citado por Bonilla et al, 1994).

Método de extracción	Cultivo	Nivel crítico (ppm)	
Agua Caliente	Papa	0,6 0,6 - 0,8 0,8	Bajo Medio Alto
	Pastos	0,5 0,5 - 0,8 0,8 - 1,2 1,2	Bajo Medio Alto Muy alto
	Espinaca	0,2	Bajo
	Café	0,5	Bajo
Fosfato monobásico 0,008M	General	0,2 0,2 - 0,6 0,6	Bajo Medio Alto
Cloruro de calcio Ca Cl ₂	General	menor a 0,2 0,2 - 0,5 0,5 - 1,0 mayor a 1,0	Muy bajo Bajo Medio Alto

Finalmente, la tolerancia máxima de los cultivos al contenido de Boro en el extracto de saturación de suelo (ppm) se aprecia en el cuadro 14. (Maas, 1986, y Kemeth, 1990 citado por Cadahía, 2000).

Cuadro 14. Tolerancia máxima de los cultivos al Boro (mg/l en la disolución del suelo (extracto de saturación))(Fuente: Maas E.V.(1986) y Kemeth, K.(1990), citado por Cadahía, 2000).

Tolerancia máxima de los cultivos al Boro mg/l en la disolución del suelo (extracto de saturación)	
Cultivo	Boro
Fréjol	0,75 - 1,00
Pimiento	1,00 - 2,00
Pépino	1,00 - 2,00
Tomate	0,5 - 2,00
Fresa	0,75 - 1,00
Lechuga	2,000 - 4,00
Melón	2,000 - 4,00
Rosal	1,00 - 1,50
Clavel	2,00 - 4,00

4.3 Obtención de Niveles de Boro en Tejidos Foliare y Otros

Cabe señalar primeramente que existen diferencias en la susceptibilidad relativa de las plantas a las deficiencias de Boro, dentro de las cuales las más sensibles son las plantas-raíces (remolachas, espárragos y nabos), y otras como el girasol, apio, coles de Bruselas, coliflor, siendo la alfalfa la más susceptible. De los árboles frutales, el más sensible de todos es el manzano, seguido por el peral y la vid. Los cereales son poco sensibles, aunque la formación de grano se ve afectada. Ver Cuadro 15. (Shorrocks, 1982; citado por Bonilla et al., 1994; Brown, 2007).

Cuadro 15. Susceptibilidad relativa de las plantas cultivadas a la deficiencia de Boro (Fuente: Shorrocks, 1982, citado por Bonilla et al., 1994).

Susceptibilidad relativa de las plantas cultivadas a la deficiencia de Boro					
Susceptible		Moderadamente		Tolerante	
Alfalfa	Eucalipto	Plátano	Tomate	Cebada	Soya
Manzano	Vid	Repollo	Espinaca	Avena	Fresal
Brócoli	Palma aceitera	Cítricos	Lechuga	Centeno	Piña
Clavel	Olivo	Trébol	Melocotón	Trigo	Caucho
Rosal	Pino	Cacao	Rábano	Sorgo	Gramínea forraje
Crisantemo	Remolacha	Lino	Té	Arroz	Fréjol
Zanahoria	Remolacha azucarera	Maíz		Caña az.	
Apio	Girasol	Papaya		Habichuela	
Coliflor	Nabo	Peral		Arveja	
Café	Maní	Tabaco		Espárrago	
Algodón				Pepino	

Existen varios métodos para determinar el contenido de elementos químicos en tejidos vegetales. La mayoría incluye la destrucción del componente orgánico del tejido de manera de convertir los elementos a una forma soluble que luego se analiza. La introducción de los analizadores multielementales ha incorporado la tendencia de usar una sola muestra para analizar la mayoría de los elementos esenciales (SQMC, 2002).

El análisis foliar consiste en determinar la concentración de nutrientes en muestras de hojas. Los análisis foliares y de otros órganos responden a la denominación general de “análisis de plantas” o “análisis de tejidos” (SQMC, 2002).

El análisis foliar se basa en que el estado nutricional de la planta se ve reflejado en la concentración de los elementos en las hojas durante ciertos estados de desarrollo. La baja concentración de un elemento, comparado con estándares previamente determinados como “normales”, puede deberse a la menor disponibilidad del nutriente en el suelo o a otro problema que se debe investigar (SQMC, 2002).

4.3.1 Toma de Muestras para Análisis Foliar de Boro

La concentración de nutrientes varía según el órgano y estado de desarrollo de las plantas. Para interpretar los resultados es fundamental seguir los procedimientos de muestreo, estandarizados mediante investigaciones para las distintas especies, lo que permite estimar mejor las diferencias en el estado nutricional. Los laboratorios proveen instrucciones al respecto, las que se resumen a continuación. (SQMC, 2002).

- Cada muestra debe provenir de un suelo que tenga carac. homogéneas.
- Cada muestra debe provenir de plantas de una misma variedad y edad.
- Una muestra debe abarcar un sector con manejo similar no mayor de 10 ha.
- Se debe tomar 2 a 4 hojas de la periferia del árbol, a una altura de más o menos 1,5 m hasta completar unas 80 hojas, si son grandes (vid, palto o aguacate y nogal), y unas 120 hojas si son pequeñas.



- El recorrido del sector puede hacerse formando una X o en forma de zigzag.
- Para las especies más comunes en climas templados del Hemisferio sur, el tipo de hoja y la época de muestreo se indican en el Cuadro 16.

Cuando se observan síntomas visuales en plantas y se intenta utilizar análisis foliar para identificar el problema, se toman muestras separadas de plantas con síntomas y plantas sanas. En este caso, las muestras pueden tomarse cuando se presenta el problema. No es necesario hacerlo en una época determinada. (SQMC, 2002).

Las muestras se colocan en bolsas de papel, bien identificadas y protegidas del sol y calor. Si no se envían de inmediato al laboratorio, es conveniente guardarlas en refrigerador a unos 4° C hasta por 7 días (SQMC, 2002).

4.3.2 Niveles Críticos de Boro en Tejidos Foliare y Otros

En las diversas especies los niveles de deficiencia de Boro en tejidos foliares son inferiores a 15-20 ppm; los índices normales y no excesivos entre 20 - 100 ppm, y los síntomas de toxicidad se presentan generalmente por sobre los 200 ppm. Pero la toxicidad se puede presentar inclusive en cantidades inferiores en las especies susceptibles al exceso de Boro (Bonilla et al., 1994). En el Cuadro 16 se entrega una orientación de los contenidos considerados suficientes para algunas especies, los rangos de toxicidad y el tejido de muestreo como indicador nutricional.

Cabe señalar que últimas investigaciones han demostrado que otros métodos como el análisis de fruta (pedúnculo y pulpa) aparece como una nueva aproximación para evaluar el estado de Boro en aguacate (Razeto y Castro, 2007).

Cuadro 16. Rangos de deficiencia, suficiencia y exceso en tejido de muestreo seleccionado (ppm o mg/kg de materia seca) (Fuente: Adaptado por Palma, 2007, usando Silva y Rodríguez, 1995; Bonilla et al., 1994; Domínguez, 1996; Razeto, 2004; Rojas, 2004; Domínguez, 1996; Razeto, 2004; Rojas, 2004; Palma, 2006).

Niveles estándares foliares de Boro en varios cultivos (ppm)							
Cultivo	Tejido a muestrear	Def.	Bajo	Normal	Alto	Exceso	Referencia
Kiwi	Verano 2° a 3° hoja desde el último fruto del brote (con peciolo)	<25		30-70		>150	Razeto, 2004
Kiwi	Primera a 3° hoja vecina sin producción. Hojas del tercio 1/2 brote	<24		40-50		>70-100	Silva y Rodríguez, 1995 Razeto, 2004; Palma, citado en SQM S.A., 2006
Vid	Peciolo en floración (estado fenológico de Flar)		24-30	30-50			Rojas, 2004
Vid	Hojas recién expandidas	<15		30-80		>200	Razeto, 2004; Palma, citado por SQM S.A., 2006
Vid	Lámina recién madura en verano (estado fenológico de Pima)	<25	15-25	25-50		>100	Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al., 1994 Razeto, 2004
Vid	Hojas	<20		25-70			Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al., 1994
Manzano	Hoja mejor del dardo nuevo de la penúltima con o sin fruta	<20		28-50			Silva y Rodríguez, 1995
Manzano	Hoja mejor del dardo nuevo de la penúltima con o sin fruta	<20		25-70			Silva y Rodríguez, 1995
Manzano Rojo	Hoja del tercio medio del brote a mediados de verano	<20		25-70			Silva y Rodríguez, 1995
Manzano Verde	Hoja del tercio medio del brote a mediados de verano			25-70			Silva y Rodríguez, 1995
Manzano Spur	Hoja del tercio medio del brote a mediados de verano			23-70		>90	Razeto, 2004
Peral	Hoja de la parte central del brote en verano	<16		30-70			Silva y Rodríguez, 1995
Peral	Hoja del tercio medio del brote a mediados de verano			25-180			Domínguez, 1996
Frutales de Pepita	Hojas bien desarrolladas, con peciolo, de los brotes del año	<25		21-70	70-100	>100	Razeto, 2004
Duraznero	Hoja del tercio medio del brote en verano	<16	16-21	28-60	60-90	>100	Razeto, 2004
Ciruelo	Hoja del tercio medio del brote en verano	<20	20-28	20-80			Silva y Rodríguez, 1995
Nectarin	Hoja del tercio medio del brote en verano			28-70		>200	Razeto, 2004
Almendro	Hoja del dardo sin fruta a mediados de verano	<28		25-140		>100	Domínguez, 1996
Frutales de Hueso	Hoja del tercio medio del brote en verano	<20		25-70	70-100	>300	Razeto, 2004
Cerezno	Hoja centro en verano.	<22	22-25	20-70	70-90	>250	Razeto, 2004
Damasco	Hoja del tercio medio de brote en verano	<18	18-20	35-200		>260	Razeto, 2004
Nogal	Hojuela terminal en brote a mediados de verano	<20		30-100	100-250	>300	Silva y Rodríguez, 1995; Razeto, 2004
Citrinos	Hojas de 4 a 6 meses de brote de primavera sin fruto	<20	21-30	31-260		>250	Malavolta, 1989; Silva y Rodríguez, 1995; Razeto, 2004
Agrios	Hojas de 4 a 6 meses de brote de primavera sin fruto	<21		25-50	51-100	>120	Domínguez, 1996
Palbo	Hojas de brotes sin fruto-febrero - marzo para hemisferio sur	<14	15-25	50-100			Razeto, 2004
Palbo - Hass/Bacon	Hojas de 5 a 7 meses de brote de primavera sin fruto			19-150		>185	Silva y Rodríguez, 1995.
Palbo Fuerte	Hojas de 5 a 7 meses de brote de primavera sin fruto	14	23-30	30-60			Razeto, 2004
Olivo	Hojas del tercio de brotes sin fruto en enero, para hemisferio sur			30-100			Razeto, 2004
Frutilla o Fresa	Lámina de hoja recién madura (NO ₃ - N peciolo)	<23		30-60			Razeto, 2004
Chirimoyo	Hoja del tercio de brote sin fruta en invierno			30-60			Silva y Rodríguez, 1995.
Chirimoyo	Hoja del tercio de brote sin fruta en invierno			30-60			Silva y Rodríguez, 1995.



Cuadro 16 (continuación) (Fuente: Adaptado por Palma, 2007, usando Silva y Rodríguez, 1995; Bonilla et al., 1994; Domínguez, 1996; Rozeto, 2004; Rojas, 2004; Palma, 2006).

Niveles estándares foliares de Boro en varios cultivos (ppm)							
Cultivo	Tejido a muestrear	Def.	Bajo	Normal	Alto	Exceso	Referencia
Papayo				30-60			Silva y Rodríguez, 1995.
Papayo hoja				15			Malavolta, 1989, citado por SGMIC, 2002.
Mango con fruto				30			Malavolta, 1989, citado por SGMIC, 2002.
Mango	Brote terminal nuevo con fruta			40-80			Ostfuryse, citado por SQM S.A., 2006
Atráandano				30-70			Silva y Rodríguez, 1995; Vidal, 2006
Atráandano				24-60			Universidad de Maine, citado por Palma, 2006
Atráandano				30-70			Inia, Quillamapu, citado por Palma, 2006
Atráandano				30-150			Hanzel y Rodríguez, citado por Palma, 2006
Atráandano				12-35			Spiers, citado por Palma, 2006
Frambueso	Hoja recién madura en brote a mediados de verano			30-80			Rozeto, 2004
Alfalfa	Apices a inicio floración	< 20		30-80			Rojas, 2004
Alfalfa	Tercio superior planta antes de floración			30-80		> 100	Shorrocks y Howleler citado por Bonilla et al, 1994
Maíz	Planta entera mayor a 20 cms.			10-25		> 100	Rojas, 2004
Maíz	Hoja bandera al inicio de pelo de choclo			10-20		> 100	Rojas, 2004
Maíz	Hoja de mazorca a iniciación del cabello	< 2		10		> 55	Shorrocks y Howleler citado por Bonilla et al, 1994
Trigo	Planta entera a matcolla			5-10		> 30	Rojas, 2004
Tomate	Hojas cerca del ápice			30-80		> 500	Rojas, 2004
Tomate				50-70			Malavolta, 1989, citado por SGMIC, 2002.
Pinoteo				40-60		60-100	Weir y Cresswell, citado por Rojo, en SQM S.A., 2007
Papa o Patata			18-24	30-60			Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al, 1994
Cereales	Pajas	< 15		5-20		> 20	Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al, 1994
Trebol	Partes aéreas estado botones florales	< 5		20-45		> 70	Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al, 1994
Remolacha	Limboas hojas adultas recientemente	< 15		25-50		> 250	Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al, 1994
Aroz	Lámina tibar al marcollamiento	< 20		25-50		> 100	Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al, 1994
Frijol	Hojas superiores desarrolladas, sin peciolos, inicio floración	< 5		25		> 45	Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al, 1994
Yuca	Hojas superiores desarrolladas, sin peciolos, inicio floración	< 15		45		> 100	Shorrocks y Howleler, citado por Bonilla et al, 1994
Café	Láminas más jóvenes comp. expandidas desde los 3-4 meses	< 20		50-60			Malavolta, 1989, citado por SGMIC, 2002.
Tabaco				19-261			Malavolta, 1989, citado por SGMIC, 2002.
Tabaco (Virginia)				20-35			Ontario Publicación citado por Rojo en SQM S.A., 2007
Piña				30-40			Wallace et al, 1956
Repollo Bruselas		23		70			Wallace et al, 1956
Coliflor				36			Wallace et al, 1956
Lino				12			Boadley y White citado por Palma, 2005; Ortega, 1997.
Rosas		< 30		30-60	60-80	> 80	Ortega, 1997 citado por SQM, 2002.
Clavel		< 30		30-80		> 100	Ortega, 1997 citado por SQM, 2002.
Alstroemeria		< 15		30-60		> 80	Ortega, 1997 citado por SQM, 2002.

Las concentraciones excesivas de Boro y otros elementos como sodio y cloro en las hojas pueden ser observadas en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Concentraciones excesivas de sodio, cloro y Boro en las hojas (Fuente: Silva, H., y Rodríguez S. 1995, citado por SQMC, en Libro azul (2002)).

Especie	Concentraciones excesivas		
	Sodio %	Cloro %	Boro ppm
Vid	0,50	0,50	300
Manzano	0,25	0,30	100
Peral	0,25	0,30	80
Duraznero	0,20	0,30	100
Damasco	0,10	0,20	90
Ciruelo	0,20	0,30	90
Almendro	0,25	0,30	85
Naranja	0,25	0,70	260
Palto (aguacate)	0,25	0,25	100
Nogal	0,10	0,30	300

Cabe destacar, sobre la interpretación de los resultados del análisis foliar, que aunque el principio en que se basa este análisis como método de diagnóstico es simple, la interpretación adecuada de los resultados es más compleja y requiere considerar otros factores agronómicos. También hay que tomar en cuenta que los estándares de interpretación obtenidos en una zona o país pueden no ser enteramente extrapolables a otras zonas con condiciones diferentes, en cuyo caso sirven sólo como una guía aproximada (SQMC, 2002).

El informe que entrega el laboratorio, además del contenido de cada elemento en la muestra, puede incluir una pauta que indica si la concentración se encuentra o no dentro del rango considerado "adecuado" o "normal". Algunos laboratorios clasifican el resultado de cada elemento en categorías como "deficiente", "bajo lo normal", "normal", "sobre lo normal" y "excesivo", o con otros términos similares. En algunos casos se emplea el concepto de "nivel crítico", que es aquel bajo el cual el crecimiento y producción de la planta se afectan negativamente (SQMC, 2002).

En el caso de frutales y vides, el análisis foliar indica una condición, sin sugerir la causa o vía de corrección. La baja concentración de un nutriente en las hojas no siempre es consecuencia de su deficiencia en el suelo. Puede deberse a otros factores que interfieren en la absorción desde el suelo o su transporte dentro de la planta, a una dilución ante un vigor excesivo de la planta, o al antagonismo con otros elementos presentes en la planta (SQMC, 2002).

Puede ocurrir que un nutriente se encuentre en una concentración en apariencia suficiente en las hojas aunque sea deficitario en el suelo. Ello sucede cuando el crecimiento está limitado por factores como escasez o exceso de agua, de un segundo nutriente, u otro factor. Después de corregida la limitación, aumentará la producción y se manifestará en las hojas la deficiencia del nutriente en cuestión (SQMC, 2002).



5 Síntomas y Diagnóstico de las Deficiencias de Boro en las Plantas y Desbalances como Excesos o Toxicidades

Como se ha descrito anteriormente (ver Capítulo 2), se demostró la importancia del Boro como esencial para la estructura de las plantas en 1923 (Wanington, Annals of Botany, Vol 37: 629- 672). Su actividad depende de los polisacáridos, glucoproteínas o glucolípidos. Así, el borato actúa como “grapa molecular” que da estabilidad y funcionalidad a biomoléculas (Bolaños et al., 2004; citado por Bonilla y Bolaños, 2007), entre ellas pectinas, polisacáridos que forman el andamiaje de la pared celular que mantiene en gran medida la estructura de las plantas o glucolípidos de la cubierta de algunas bacterias. No obstante, es frecuente que la disponibilidad de un elemento se encuentre por debajo de lo óptimo que la planta requiere, en cuyo caso ocurre una situación de deficiencia o carencia, que se manifiesta con síntomas característicos. Estos síntomas normalmente se presentan asociados a las funciones específicas que el elemento desempeña en la planta. A esta carencia de un elemento, que además esté limitando la producción, se le denomina “Ley del mínimo de Liebig” o “Ley del barrilito”, como se aprecia en la Figura 27.

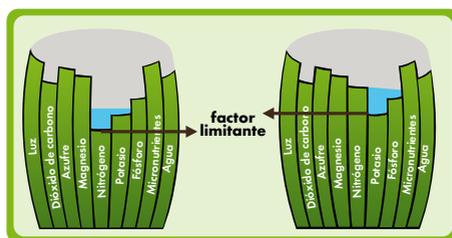


Figura 27. La Ley del mínimo o “Ley del barrilito” consiste en que el nivel del agua señala el nivel de la producción. A la izquierda, el nitrógeno está representado como el factor más limitante: la producción no puede ser más alta que la permitida por él. A la derecha, el nivel de la producción aumenta hasta ser controlado por el próximo factor más limitante, en este caso el potasio (Fuente: SQMC, 2002).

El grado de movilidad del elemento en la planta también influye sobre los síntomas. Así, los elementos de alta movilidad concentran sus síntomas de deficiencia en las hojas basales, maduras, puesto que son fácilmente transportados desde éstas hacia aquellas en formación en las cercanías del ápice de los brotes. Opuestamente, en los elementos de muy baja movilidad, como es el caso del Boro, los síntomas afectan preferentemente a las hojas nuevas y a los puntos de crecimiento. Ello se debe a que, al llegar a una situación de deficiencia en la planta, aquellos elementos no pueden ser removidos desde las hojas adultas, donde ya han sido asimilados o incorporados a las estructuras celulares.

La deficiencia no sólo puede originarse por un bajo contenido del elemento en el suelo. También puede obedecer a otras causas, como una insolubilización del mismo elemento en el suelo, debida a una reacción alcalina o ácida, a una fijación en los coloides minerales u orgánicos o a un antagonismo con otro elemento que, al encontrarse en alta concentración, compita con su absorción o posterior transporte en la planta. Simultáneamente, hay elementos de alta movilidad en el suelo que están sujetos a pérdida por lixiviación. Otros se pierden por evaporación. Una deficiencia también puede ser provocada por incapacidad genética de determinada variedad o portainjerto para efectuar una absorción eficiente de un elemento por sus raíces o bien para transportarlo hacia la parte aérea (Palma, 2004). No olvidar el factor de movilidad del Boro acorde al genotipo de que se trate (Razeto, 1993; Brown y Hu, 2008; Brown, 2007).

No sólo las deficiencias de elementos minerales producen alteraciones en las plantas. También el exceso de ellos causa trastornos fisiológicos y anatómicos. Cuando el nivel de determinado elemento sube en demasía, se llega a un estado de fitotoxicidad que, en casos extremos, puede provocar la muerte de la planta, sobre todo cuando es joven (Figura 28).



Figura 28. Curva de interpretación y diagnóstico de Nivel Crítico para los elementos nutricionales (Fuente: Alarcón, 2001; Yara, 2003).

Los excesos o toxicidades normalmente derivan de una excesiva disponibilidad de un elemento en el suelo o de una alta concentración del mismo en el agua de riego. Otra causa frecuente de fitotoxicidad se encuentra en la aplicación de fertilizantes, tanto al suelo como al follaje, en dosis excesivas o en un momento inadecuado. Este es el caso



del elemento Boro, en que, al encontrarse en el agua de riego en niveles suficientes, basta una pequeña absorción mejorada del elemento para pasar de una situación de deficiencia a una de toxicidad. La mayoría de los oligoelementos o elementos menores llamados también microelementos responden a este comportamiento.

A veces, la excesiva dotación de un elemento inhibe la absorción o el transporte de otro, manifestándose entonces con los síntomas de deficiencia de este último. Ver Capítulo 3. Es el caso de ejemplos de antagonismos conocidos entre elementos como K^+/Ca^{++} ; K^+/Mg^{++} ; Ca^{++}/Mg^{++} ; NO_3^-/Cl^- ; Na^+/K^+ ; $Ca^{++}/HPO_4^{=}$; $Ca^{++}/SO_4^{=}$; $SO_4^{=}/Mg^{++}$; $HPO_4^{=}/Zn^{+}$ y $Ca^{++}/H_2BO_3^{=}$. Cabe señalar que, a niveles adecuados de balance nutricional, $Ca^{++}/H_2BO_3^{=}$ son sinérgicos. En cambio, frente a un desbalance, son antagonísticos.

En el caso de aspersiones al follaje, el desplazamiento del pH de la solución de fertilizante hacia niveles extremos puede ser, también, origen de lesiones en los tejidos que la reciben directamente.

En el uso de aplicaciones edáficas, existe un riesgo de causar toxicidad por aplicaciones de Boro al suelo. Se recomienda no incrementar los contenidos de Boro foliar a niveles superiores de 60 ppm de Boro (Figura 29).

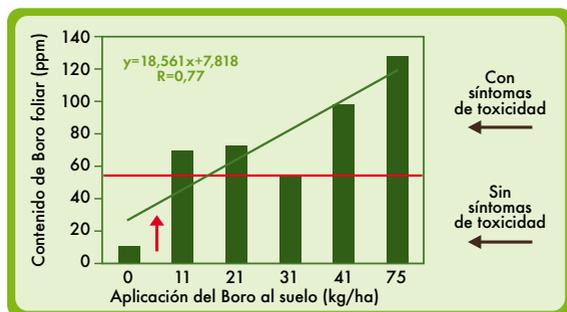


Figura 29. Manejo del riesgo de causar toxicidad por aplicaciones de Boro al suelo (Fuente: gentileza **SQM** México).

5.1 Deficiencias de Boro

La diferencia en la movilidad determina la diferencia que puede existir en la expresión de los síntomas de deficiencia de Boro en las plantas. La diferencia de movilidad del Boro, presentada previamente, también influye en el diagnóstico del estado nutricional del Boro en la planta y la corrección de la deficiencia o toxicidad. Las técnicas de muestreo practicadas actualmente y la descripción de los síntomas se basan en la premisa de que el Boro es inmóvil en la planta. Sin embargo, la selección del tejido a muestrearse y la determinación de la concentración crítica del nutriente depende de la movilidad del Boro en el floema (Brown y Hu, 1998).

El diagnóstico en la deficiencia de hojas recientemente maduras o completamente expandidas no es adecuado si el elemento es inmóvil en el floema. Esto se debe a que la concentración de Boro en una hoja desarrollada no refleja el estado del Boro en los tejidos en crecimiento, en los cuales un suplemento de Boro constante es muy crítico. En este caso, el diagnóstico solo será posible al muestrear los tejidos en crecimiento. Este es por naturaleza un proceso difícil e inconsistente, pero el único enfoque válido (Brown y Hu, 1998).

En contraste, en las especies con movilidad, las hojas maduras son apropiadas para detectar la deficiencia ya que este contenido refleja el estado del Boro en toda la planta, inclusive en tejidos jóvenes en crecimiento. En estas especies, la disminución del contenido de Boro en el suelo no tendrá impacto en el crecimiento de los tejidos meristemáticos hasta que la reserva de Boro soluble de los tejidos maduros se agote (Brown y Hu, 1998).

En numerosas especies los síntomas de deficiencias aparecen con niveles inferiores a 15-20 ppm de Boro en hoja, los contenidos normales y no excesivos se sitúan entre 20-100 ppm y los síntomas de toxicidad aparecen generalmente a partir de 200 ppm, aunque pueden manifestarse con cantidades inferiores en especies menos tolerantes al exceso de Boro (Bonilla et al., 1994). Ver capítulo 4.

En general puede esperarse una deficiencia de Boro con niveles inferiores a 30 ppm en hoja o cuando la relación entre el contenido del elemento en hojas jóvenes versus el que se tiene en hojas viejas es bastante inferior a la unidad. Lo que sí resulta evidente es que en caso de deficiencia las partes apicales presentan contenidos inferiores a las partes basales de la planta (Bonilla et al., 1994).

El Boro tiende a acumularse en los márgenes de las hojas, con contenidos cuatro veces superiores que en las hojas enteras (Bonilla et al., 1994 y Brown y Hu, 1998).

La participación del Boro en procesos fisiológicos específicos relacionados con la deficiencia y los síntomas en la planta se resume en la siguiente Figura 30 (Römheld, citado por Yamada, 2000). El Boro determina un efecto sobre:

- Inhibición del crecimiento.
- Muerte de yema apical.
- Necrosis.
- Menor proporción de semillas.





Figura 30. Funciones del Boro y procesos fisiológicos afectados por deficiencia y síntomas en la planta (Fuente: Römheld, citado por Yamada, 2000).

Las deficiencias de Boro causan síntomas internos y externos que se describen a continuación.

Síntomas internos: primeramente a nivel vascular y secundariamente a nivel celular:

- Proliferación de células deformadas, degeneración tisular meristemática y membranas celulares, acumulación de compuestos fenólicos en vacuolas, aparición de zonas fibrosas y mal desarrollo de los vasos (Gupta, 1979, citado por Bonilla et al., 1994).
- Además existe aumento de la actividad ascorbato oxidasa como acumulación de nitratos y disminución del contenido en azúcares (Alarcón, 2001).

Síntomas externos: son aquellos que aparecen inicialmente en las zonas más jóvenes de las plantas.

- El crecimiento terminal se reduce considerablemente, y la yema terminal muere (Razeto, 1993; Loué, 1988; citado por Bonilla et al., 1994).
- Los brotes axilares se estimulan y se obtiene una apariencia de roseta terminal (Loué, 1988 citado por Bonilla et al. 1994).
- Los entrenudos se ven acortados (Loué, 1988 citado por Bonilla et al. 1994) y acompañados de abundante brotación lateral, cuyos brotes se presentan con hojas pequeñas, retorcidas o curvadas hacia arriba (Razeto, 1993).
- Las hojas presentan alteraciones. Las más jóvenes se ven deformadas, rizadas y en general más frágiles y de un color verde azulado (Loué, 1988 citado por Bonilla et al. 1994; Razeto, 1993).
- Los pecíolos y tallos se tornan fibrosos, débiles y con grietas; los frutos son deformes e irregulares como resultado de una polinización (fertilización) incompleta; las puntas de las raíces se necrosan, afectando el desarrollo radicular (Bonilla et al., 1994).
- El Boro produce serios trastornos en los frutos ya que una deficiencia genera aborto de flores y frutos pequeños que luego caen. También provoca fruta deforme al ser afectado el tubo polínico (Razeto, 1993).
- Muchos frutos se deforman, con abolladuras, grietas, manchas suberizadas en la piel o zonas corchosas en la pulpa, pudiendo llegar a madurar, lo que se aprecia en manzano, peral, damasco y cítricos. En el almendro hay una exudación de goma en los frutos y abundante caída a comienzo de verano. En vid ocurre "corrimiento" en racimos, con presencia de bayas pequeñas (Razeto, 1993, Alarcón, 2001).

Cabe señalar que la deficiencia de Boro normalmente es transitoria, lo que hace muy difícil muchas veces su identificación y obliga a mantener una dotación constante del elemento, sobre todo en períodos de alta demanda, y significativa en la productividad (Callejas, 2003; Brown, 2007)). Un ejemplo de lo señalado es lo observado en figura 31, donde se aprecian que las absorciones o demandas de boro en Olivos en Chile para la hoja y fruto son en diferentes épocas, siendo importantes a partir de floración y endurecimiento de carozo respectivamente (Gentileza Dr. Fichet, 2008). Se citan condiciones de períodos de excesos de frío, sequía o de humedad que pueden inducir deficiencias de Boro en el estado de California. De ahí que recomendar aplicar Boro foliar inmediatamente antes de la floración se ha transformado en un tratamiento preventivo estándar en dicha localidad en muchos frutales, porque es muy difícil prevenir la deficiencia y porque una vez que ésta ocurre los daños podrían ser muy altos (Brown, 2007).

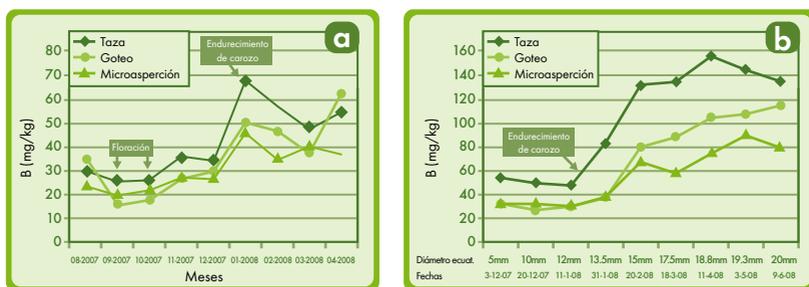


Figura 31. Nivel de boro en hoja opuesta al fruto, desde Julio a Abril (a) y nivel de boro en fruto, desde cuaje a cosecha en tres huertos de olivo var. Kalamata con distinto tipo de riego (taza, goteo y microaspersión) (b). Copiapó. Proyecto Innova 05CR11PAD-08 "Olea" (Fuente: Gentileza Dr. Thomas Fichet, Universidad de Chile).

El análisis de suelo también puede ser una herramienta de diagnóstico de la disponibilidad de Boro, y muchas veces nos indicará deficiencias o excesos susceptibles de interpretar con el apoyo de otros análisis, como el análisis de Boro de las aguas de riego (Rojas, 2004).

Las especies más susceptibles a la deficiencia de Boro generalmente son el manzano, peral, damasco, almendro y la vid (Razeto, 1993). Sin embargo, resulta de fácil solución corregir dicha deficiencia, ya que existe una buena respuesta tanto a las aplicaciones de fertilizantes boratados al suelo como a las aspersiones foliares (Razeto, 1993). Ver Cuadro 15 en Capítulo 4.

Por último, los síntomas presentan similitud con los ocasionados por el elemento nutricional zinc (Razeto, 1993).



5.1.1 Síntomas de Deficiencia en Vid

(Fuentes: Cadahía, 2003; Callejas, 2003; Razeto, 1993 citado por Palma en SQM, 2006)

- Necrosis en la punta del brote, clorosis intervenal y necrosis en la hoja, e internudos hinchados.
- Raíces deformes (tipo coral) y ápices necróticos.
- Racimos con un grano con semilla y muchos granos pequeños sin semillas, redondos de igual tamaño (en vez de alargados).
- Brotes nuevos crecen con internudos cortos y en zigzag.
- Ápice se seca prematuramente.
- Emisión de brotes laterales.
- Reducción del cuaje.



Figura 32. Deficiencia de Boro en vid, que afecta al brote (a, b y c) (Fuente: Razeto, 1993) y produce corredura del racimo (d) (Fuente: Gentileza de Dr. Carlos Cadahía (Universidad Autónoma de Madrid) publicado en Cadahía, 2003); y partidura de fruta (e y f) (Fuente: Palma, 2009).

5.1.2 Síntomas de Deficiencia en Peral y Manzano

(Fuentes: Razeto, 1993; Palma, 2004)

- En manzanos, en especial en las variedades delicious rojas pueden presentar un resquebrajamiento de la corteza en las ramas con desprendimiento de la epidermis. Este síntoma es similar al causado por un exceso de manganeso en suelos ácidos. Ver Figura 33 (Razeto, 1993).
- Trastornos en el crecimiento de los árboles. Su efecto más notable ocurre en los frutos: se produce un aborto de flores y frutitos pequeños, los que caen precozmente. Muchos de estos frutos desarrollan deformidades, con abolladuras, grietas, manchas suberizadas en la piel o zonas corchosas en la pulpa, pudiendo llegar a madurar. Ver Figura 34 (Razeto, 1993).



Figura 33. Peras Salvador Izquierdo con síntomas de deficiencia de Boro (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 34. Frutos nuevos y ramas de peral cv. Winter Nelis con síntomas de deficiencia de Boro (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 35. Detalle de frutos nuevos de Peral cv. Winter Nelis con síntomas de deficiencia de Boro (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 36. Síntoma de deficiencia de Boro en fruto de manzano, donde se aprecia una zona corchosa y dura, "pétrea", bajo la epidermis (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 37. Manzanas provenientes de árbol carente de Boro (Fuente: Razeto, 1993).

5.1.3 Síntomas de Deficiencia en Olivo

(Fuentes: Del Canto, 2000; Pastor et al, 1998)

- Clorosis apicales y marginales.
- Formación de brotes como “escobas de brujas”.
- Malformaciones en los frutos.



Figura 38. Deficiencia de Boro afectando las hojas y el brote (Fuente: Gentileza Asesor Técnico del Noroeste de México (Sinaloa, Sonora) y en Argentina (La Rioja, 2000), Ing. Agr. Pedro Del Canto).



Figura 39. Deficiencia de Boro afectando las hojas a través de clorosis y necrosis apical y marginal (a) en comparación a hojas normales (b) (Fuente: Palma, 2009).

5.1.4 Síntomas de Deficiencia en Cítricos

(Fuentes: Alarcón, 2001; Bull, 2005; Legaz et al., 2000; Palma, 2004; Pastor et al, 1998; Razeto, 1993; Yara, 2003)

- Las hojas jóvenes tienden a enrollarse, con manchas translúcidas, pierden su brillo característico y se secan los ápices. Se producen un número excesivo de brotes laterales que mueren prematuramente y es frecuente la aparición de yemas múltiples.
- En hojas maduras, las venas de la cara superior aparecen corchosas, ensanchadas y agrietadas o quebradizas, color de hojas opaco y sin brillo.
- En las ramillas, ramas y tronco se producen grietas o hendiduras en la que se forma goma.
- Desarrollo prematuro del color de la corteza del fruto con depósitos internos de goma (en el albedo), con manchas pardas en la pulpa. La fruta puede desarrollar una decoloración gris - marrón.
- La Fruta es deformada con tamaño reducido y dura. La piel es extremadamente gruesa y con escasos contenidos en zumo (jugo) y azúcares.



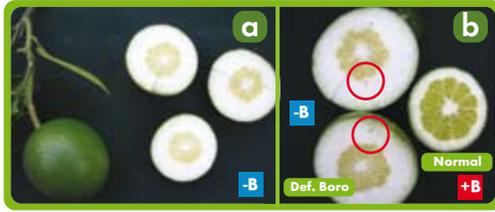


Figura 40. Deficiencia de Boro en frutos de cítricos que provocan depósitos internos de goma en la cáscara (colapso del albedo), piel gruesa (escaso jugo), deformación de frutos (a) en comparación a fruta normal al costado derecho (b) (Fuente: Palma, 2009).

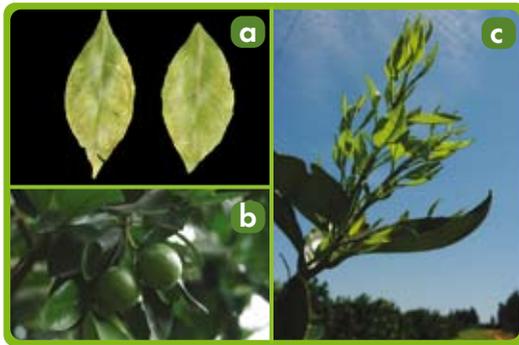


Figura 41. Deficiencia de Boro en hoja de cítricos que al envejecer se vuelven gruesas, coriáceas, quebradizas y con un amarillamiento a lo largo de los nervios principal y secundarios (a) (Fuente: Gentileza de Dr. Francisco Legaz, Instituto Valenciano de investigaciones Agrarias (IVIA), España publicado en Legaz et al., 2000) y brote sin brillo (b y c) (Fuente: Gentileza de Sr. Barry Bull, Jefe Agrónomo de Yara Asia, tomadas en Brasil (Sao Paulo) y México (Martínez de la Torre, Veracruz), 2005).



Figura 42. Deficiencia de Boro que provoca manchas pardas en la pulpa de la fruta de cítricos (Fuente: Gentileza de Dr. Francisco Legaz, IVIA, España, publicado en Revista Comunidad Valenciana Agraria, consultar sitio <http://www.ivia.es/sdta/pdf/revista/citricos/05tema11.pdf>) (a) y exudación de goma en albedo (Fuente: Gentileza de Sr. Barry Bull, Jefe Agrónomo de Yara Asia, tomadas en Brasil (Sao Paulo), 2005).

5.1.5 Síntomas de Deficiencia en Tomate

(Fuentes: Alarcón, 2001; Alarcón, 2002; Bull, 2005; Cadahía, 2003; Del Canto, 2000 y Holwerda, citado en **SQM**, 2005).

- Muchos de los síntomas de deficiencia de Boro se producen debido a que existe un desequilibrio con otros elementos. Así tenemos que plántulas de tomate son severamente afectadas y producen plantas achaparradas, debido a un exceso de cal (carbonato de calcio mayor a 2.000 ppm). Deficiencia de Boro produce un amarilleamiento de la punta de las hojas más bajas, resultando en hojas quebradizas.
- Se desarrollan áreas corchosas cerca del cáliz o en los hombros de la fruta, en las plantas con un severo desequilibrio por deficiencia de Boro.
- Provoca hojas jóvenes más finas y frágiles, de tono crema pálido.
- Márgenes con una tonalidad púrpura, desarrollan lesiones necróticas y se encorvan hacia adentro.
- Con una deficiencia más grave, estas hojas jóvenes se deforman, son quebradizas, y mueren los ápices de crecimiento.
- Las hojas maduras amarillean mostrando una tonalidad anaranjada en los márgenes. Los pedúnculos de los ramilletes son cortos y gruesos y generalmente sin producción, o si la tienen es con frutos agrietados, con superficies acorchadas y con una maduración desigual. Los frutos sufren pardeamientos internos.
- Los síntomas de deficiencia de Boro se producen por debajo de 0,1 ppm en la disolución del sustrato de cultivo y se manifiestan por el agostamiento de las puntas de crecimiento, caída de botones florales, clorosis de hojas jóvenes, menor desarrollo de planta (Cadahía, 2000, 2003 y 2008).



Figura 43. Deficiencia de Boro provoca rajadura en el tallo y falta de formación en lóculos del fruto (a y b) (Fuente: Gentileza de Sr. Barry Bull, Jefe Agrónomo de Yara Asia, tomadas en Brasil (Sao Paulo, 2005).



Figura 44. Desequilibrio en el crecimiento de las hojas de tomate, que ocasiona un amarilleamiento de la punta de las hojas más bajas (a), con resultado de hojas quebradizas (b) (Fuente: Applied Plant research, Naaldwijk, citado por Holwerda en **SQM**, 2005).





Figura 45. Desarrollo de áreas corchosas del cáliz o en los hombros de los frutos de tomates afectados por un severo desequilibrio por deficiencia de Boro (Fuente: Gentileza Applied Plant research, Naaldwijk, citado por Holwerda en **SQM**, 2005).



Figura 46. Deficiencia de Boro provoca falta de formación en lóculos del fruto (a) (Fuente: Gentileza de Sr. Barry Bull, Jefe Agronómico de YaraAsia, tomadas en Brasil (Sao Paulo, 2005) y se desarrollan áreas corchosas cerca del cáliz o en los hombros de la fruta (b) (Fuente: Gentileza de Asesor Técnico del Noroeste de México (Sinaloa, Sonora) y Argentina (Mendoza, 2000) Ing. Agr. Pedro Del Canto).

5.1.6 Síntomas de Deficiencia en Pimiento

(Fuentes: Alarcón, 2002; Berríos et al., en **SQM**, 2007; PPO Naaldwijk)

- Las hojas nuevas de plantas jóvenes se ponen distorsionadas cuando el suministro de Boro es inadecuado. El color amarillo en las puntas de las hojas maduras se extiende gradualmente alrededor de los márgenes, y las venas principales se tornan de color rojizo - marrón.
- Amarilleamiento de los extremos de las hojas maduras que gradualmente se extiende por los márgenes.
- Los nervios principales se tornan de color marrón, síntoma que es claramente visible al poner la hoja a contraluz.



Figura 47. Deficiencia de Boro en Hojas de Pimiento (Fuente: Berríos et al., citado en **SQM**, 2007).

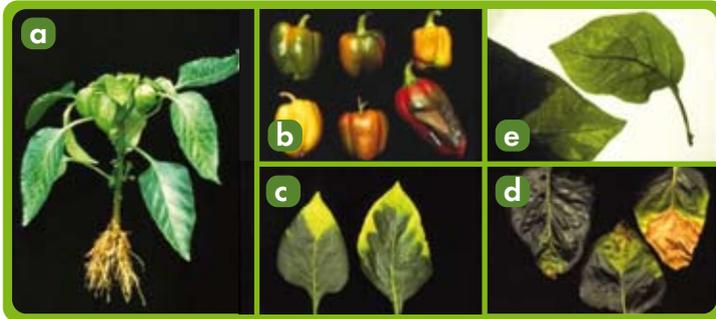


Figura 48. Deficiencia de Boro en planta pequeña (a), fruto (b) y hojas (c,d,e) (Fuentes: Gentileza de PPO Naaldwijk, citado por Berríos et al., en **SQM**, 2007).

5.1.7 Síntomas de Deficiencia en Papa

(Fuentes: Del Canto, 2001; **SQM**, 2002; Rojo citado en **SQM**, 2006; The American Phytopathological Society; Universidad de la Frontera (UFRO), Chile).

- Cuando la papa crece con déficit de Boro se presenta muerte de los puntos de crecimiento, y entrenudos más cortos dando a la planta una apariencia arbustiva.
- Raíces cortas, gruesas y de color oscuro.
- Grietas en la superficie de los estolones.
- Internamente, la carencia de Boro se observa primero en los puntos de crecimiento de raíces y posteriormente en los del tallo.
- Estos síntomas se ven como una decoloración marrón y rotura de células individuales o complejos de células antes de la muerte del meristemo apical.
- Seguidamente van muriendo el tallo, yemas axilares, partes internas de los tallos laterales, y el tejido de los nudos y de los entrenudos.
- La deficiencia de Boro en papa puede ocasionar oscurecimiento interno de los tubérculos.
- Los tubérculos quedan chicos, tienen frecuentemente la superficie rota y aparecen áreas marrones localizadas o decoloración vascular marrón cerca de la base de los tubérculos.



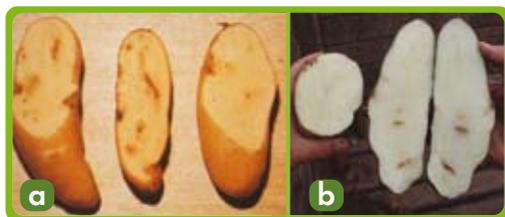


Figura 49. La deficiencia en papa puede ocasionar oscurecimiento interno de los tubérculos en Chile (a) (Fuente: Gentileza de Universidad de la frontera (UFRO)), y en Argentina (b) (Fuente: Gentileza de Asesor Técnico del Noroeste de México (Sinaloa, Sonora) y en Argentina (San Rafael, 2001) Ing. Agr. Pedro Del Canto).



Figura 50. La deficiencia de Boro en papa interfiere en el desarrollo radicular de la planta. De ahí que la hoja naciente se enrolla hacia arriba y presenta bordes amarillentos (Fuente: Gentileza de The American Phytopathological Society, citado por Rojo en **SQM S.A.**, 2006).

5.1.8 Síntomas de Deficiencia en Tabaco

(Fuentes: Del Canto, 2001; Rojo citado en **SQM S.A.**, 2007)

- Las hojas jóvenes aparecen restringidas, de color verde pálido, seguido de cierta descomposición en la base. Si después el crecimiento continúa, las hojas presentan un desarrollo retorcido, y las hojas rotas muestran los tejidos vasculares ennegrecidos.



Figura 51. Deficiencia de Boro en hojas de tabaco (a) (Fuente: Cortesía de Sr. J. Michel Moore, Universidad de Georgia, citado por Rojo en **SQM S.A.**, 2007) y (b) (Fuente: Gentileza de Asesor Técnico del Noroeste de México (Sinaloa, Sonora) y Argentina (Salta, 2001) Ing. Agr. Pedro Del Canto).

5.1.9 Síntomas de Deficiencia en Almendro

(Fuentes: Razeto, 1993; Razeto, 2009)

- Existe una exudación de goma en los frutos y abundante caída de sus frutos al comienzo del verano.
- Hojas chicas, retorcidas o curvadas hacia arriba.



Figura 52. Deficiencia de Boro en primavera en Almendro (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 53. Ramilla proveniente de almendro afectado con fuerte deficiencia de Boro (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 54. Ramillas (a) y exudación de goma en frutos de almendro con deficiencia de Boro (b) (Fuentes: Razeto, 1993; Razeto, 2009. Publicación en imprenta).



5.1.10 Síntomas de Deficiencia en Aguacate o Palto

(Fuentes: Fichet, 2006; Razeto, 1993; Razeto, 2009)

- Amarilleamiento y deformación de hojas.
- Agrandamiento de la región nodal en brotes.
- Reducción de la viabilidad del polen.
- Reducción del crecimiento de raíz.
- Muerte gradual de los puntos de crecimiento apicales y también de los axilares.
- Malformaciones en las hojas que toman una forma lanceolada, se arrugan y presentan manchas necróticas.
- Los nervios centrales y principales se parten por el envés de la hoja y se suberifican.
- Las ramitas jóvenes se pueden hinchar y mostrar bolsas internas de corcho.
- El cuajado del fruto se ve severamente afectado.
- Frutos deformes y pequeños. Fruto se deforma en un lado. Al respecto, el tamaño del fruto es ampliamente determinado muy tempranamente (cerca del 80% del número final de células son producidas en las primeras 8 semanas de crecimiento siguiendo a cuaja) y es independiente del número de células dispuesto en cada fruto durante este período (Cowan et al., 1997). En consecuencia, es importante que un adecuado suministro de nutrientes tales como Boro y zinc, que son esenciales en la división celular, estén realmente disponibles. Disponer de un inadecuado nivel de Boro durante la cuaja y subsiguiente desarrollo temprano puede también resultar en severa distorsión del fruto, con retardamiento del crecimiento sobre un lado del fruto, con el resultado de una forma atípica de la fruta a maduración (Whiley et al., 1996).



Figura 55. Frutos de aguacate con deficiencia de Boro, manifestada a través de inserción lateral del pedúnculo (Fuente: Gentileza de Dr. Thomas Fichet. Universidad de Chile, 2006).



Figura 56. Fruto de aguacate con deficiencia de Boro, el cual se deforma en un lado (Fuente: Gentileza Asesor Ing. Agr. Heladio Santacruz, Uruapan, Michoacán, México).



Figura 57. Fruto de aguacate, variedad "Hass" afectado por la deficiencia de Boro (izquierda) en comparación con una fruta normal, sin deficiencia de Boro (derecha) (Fuente: Razeto, 2009. Publicación en imprenta).



Figura 58. Frutos y brotes de aguacate, variedad "Hass", afectados por la deficiencia de Boro (Fuente: Razeto, 2009. Publicación en imprenta).



5.1.11 Síntomas de Deficiencia en Banano

(Fuentes: López y Espinosa, 1995; Sandoval y Espinoza citado por Razeto, 2009)

- Hojas encrespadas y deformadas.
- En el envés de la lámina, se observan líneas blancas, en bandas perpendiculares a la vena.
- Una severa deficiencia puede ocasionar deformación de las nuevas hojas y de racimos.



Figura 59. Deficiencia de Boro que afecta al racimo de frutos en banano (Fuente: Gentileza de Dr. Jorge Sandoval y José Espinosa de CORBANA e IPNI (ex INPOFOS) respectivamente, citado por Razeto, 2009. Publicación en imprenta).

5.1.12 Síntomas de Deficiencia en Café

(Fuentes: Espinosa citado por Razeto, 2009; Valencia, 1998)

- Se presenta en los tejidos jóvenes.
- Generalmente aparece en épocas muy secas.
- Hojas nuevas con amarilleamiento que se inicia en la punta y avanza hasta un poco más allá de la hoja.
- Se forma un tejido corchazo sobre las nervaduras.
- Las hojas se deforman apareciendo torcidas, arrugadas y con bordes irregulares.
- Aparecen puntos de color café en las hojas tiernas.
- La yema terminal del tallo horto-trópico y/o de las ramas mueren, esto hace que la planta produzca nuevos brotes y que la rama presente un aspecto de abanico.



Figura 60. Deficiencia de Boro en hojas de café (Fuente: Gentileza de Dr. José Espinosa de IPNI (exINPOFOS), citado por Razeto, 2009. Publicación en imprenta).

5.1.13 Síntomas de Deficiencia en Sandía

(Fuentes: Alarcón, 2001; Del Canto, 1998; Yara, 2004)

- Hojas jóvenes son más pequeñas que lo normal y se encrespan hacia atrás. Hojas llegan a ser descoloridas con moteado café grisáceo. Tallos pueden rajarse debido a la baja resistencia celular.
- Plantas quedan enanas y con entrenudos cortos. Puntos de crecimiento mueren.
- Floración y cuaja es pobre.
- Frutos son deformes y terminan con una epidermis pobre. Corazón hueco es muy común.
- Deficiencias usualmente ocurren cuando suelos tienen contenidos altos de humedad, o bajo condiciones de alto pH.



Figura 61. Deficiencia de Boro provoca la deformidad del fruto y menor crecimiento en zonal de inserción peduncular (a y b) (Fuentes: Gentileza de Asesor Técnico del Noroeste de México (Sinaloa, Sonora) (Colima, 1998) y Argentina, Ing. Agr. Pedro Del Canto).

5.1.14 Síntomas de Deficiencia en Clavel

(Fuentes: Palma, 2005; Palma, 2006, Palma, 2007)

- El primer síntoma de deficiencia de Boro en clavel suele ser la aparición de gran número de cálices partidos y de botones florales abortados.
- A veces, el aborto no ocurre pero presentan muy pocos pétalos que terminan secándose con el estilo muy pronunciado.
- Las hojas se encorvan y pueden llegar a romperse por el punto de inserción al nudo.
- Estas hojas generalmente muestran forma de cuchara con las puntas dentadas.
- Las hojas maduras pueden desarrollar manchas de tonalidad violeta.
- Los entrenudos son cortos y los tallos acortados resultan finos y débiles.
- La deficiencia de Boro en clavel afecta gravemente la producción de botones florales y la calidad de los que prosperan.





Figura 62. Deficiencia de Boro sobre el tallo del clavel, que ocasiona rasgadura en el internudo del tallo (Fuente: Palma, 2006. Asistencia técnica a agricultores de la Sabana de Bogotá, SQM/ Yara Colombia, Bogotá, Colombia).

5.1.15 Síntomas de Deficiencia en Rosa

(Fuentes: Alarcón, 2002; Ortega, 1992; Holwerda, 2004)

- Hojas deformes, pequeñas, alargadas y con márgenes aserrados de forma irregular, con las hojas inclinadas hacia abajo.
- Por falla de elasticidad de las hojas, se quiebran fácilmente.
- Los brotes laterales se desarrollan, dando una imagen de escoba.
- Aborto floral.
- Existe una característica pérdida de la dominancia apical que conlleva a una múltiple ramificación de los pedúnculos que están deformados. Además existe una muerte de los puntos terminales del botón.
- Los pétalos cortos y abollados pueden mostrar los bordes aserrados (verfrommeld) y pérdida de intensidad del color de los pétalos.
- Desprendimiento de los sépalos de la flor.
- Mal formación de pétalos, enroscamiento hacia adentro.

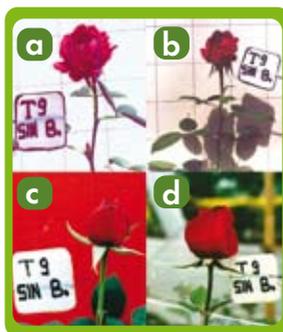


Figura 63. Deficiencia de Boro sobre Rosas, variedad Madame Delbard con pérdida de intensidad del color de los pétalos (a y b) y desprendimiento de los sépalos de la flor (c y d) (Fuente: Gentileza Agrólogo MSc. Daniel Ortega R, Director MIRFE G.R. CHIA S.A., tomadas en Sabana de Bogotá, Colombia, 1992).

5.1.16 Síntomas de Deficiencia en Papaya

(Fuentes: Alarcón, 2001; Alarcón, 2002; Berrios, 2008)

- Uno de los primeros signos de deficiencia de Boro es una leve clorosis en las hojas maduras, que pasan a ser frágiles.
- Un blanco "látex" exudado puede derivarse de grietas en la parte superior del tronco, de las hojas de los tallos, y desde la parte inferior de las venas principales y pecíolos.
- La muerte del punto de crecimiento es seguida por una regeneración, en última instancia, que entonces muere.
- Fructificación en las plantas: la primera indicación es derramamiento de flores. Cuando la fruta se desarrolla, es probable que segreguen látex blanco. Más tarde, los frutos tienden a deformarse y ponerse desiguales. La deformación es probablemente el resultado de la fertilización incompleta, ya que la mayoría de las semillas en la cavidad de las semillas son abortivas, poco desarrolladas o ausentes.
- Si los síntomas comienzan cuando los frutos son muy pequeños, la mayoría de las frutas no crecen a su tamaño completo. Los frutos con una superficie accidentada y secretora de látex son típicos síntomas de la deficiencia de Boro.



Figura 64. Deficiencia de Boro en frutos de papayas (Fuente: Gentileza Ing. Agr. Mario Berrios, SQM México, 2008).

5.1.17 Síntomas de Deficiencia en Piña

(Fuentes: Alarcón, 2002; Brown, 2002; Bull, 2003; Oosthuysen, 2004)

- La deficiencia de Boro en la piña se caracteriza por la reducción del crecimiento de los frutos, con el consiguiente agrietamiento.
- La deficiencia del Boro en la planta de la piña da un color normal, pero la hoja es más espesa y dura, mientras que la parte central de las hojas están torcidas. La aparición de los retoños y hojas se reduce, y el desarrollo de raíces también es pobre (Tseng 1966, citado por Brown, 2002).
- Rajadura del tallo en la base de la fruta (Oosthuysen, 2004, comunicación personal).



Figura 65. Deficiencia de Boro provoca rasgadura en tallo (a y b) (Fuente: Gentileza de Sr. Barry Bull, Jefe Agrónomo de Yara Asia, tomadas en México, 2003).

5.1.18 Síntomas de Deficiencia en Fresa o Frutilla

(Fuentes: Alarcón, 2001; Palma, 2009; Weir y Cresswel, 1993)

- Síntomas de deficiencia externos.
- Aparición de grietas en pecíolos, tallos, frutos (interacción con el calcio).
- Alteración en la formación de flores y frutos.
- Aparición de superficies escamosas y zonas acorchadas.
- Alteración en la germinación del polen y formación desuniforme de frutos.
- Raíces espesas, débiles y necrosadas.



Figura 66. Deficiencia de Boro afectando el crecimiento de sectores del fruto, produciendo deformación (a) en comparación de fruto normal, sin deformación (b) (Fuente: Palma, 2009).

5.1.19 Síntomas de Deficiencia en Girasol

(Fuente: Brenner, 2004)

- Al emerger las plántulas, existen fallas en el desarrollo y expansión de cotiledones.
- El sistema radical de las plantas también es afectado porque la elongación de las raíces se detiene en condiciones de deficiencias severas.
- Hojas dobladas hacia arriba, apariencia de bronceado (pardo - rojizas) en la parte superior de la planta. Las Hojas Jóvenes desarrollan un color bronceado y llegan a ser duras, malformadas y necróticas, el tallo llega a ser coriáceo, las flores de la cabeza son deformes.
- Deficiencia de Boro resulta en pobre cuaja de semillas o mal llenado de los capítulos.
- Rotura del tallo y caída de los capítulos.

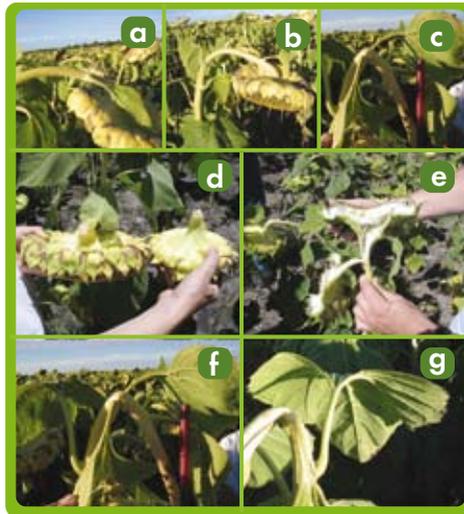


Figura 67. Deficiencia de Boro en girasol causa un cambio en la curvatura, relacionado a estructura de paredes (a y b), quebrado del tallo (c), ahucamiento de los capítulos (d y e), corte de cuchillo o corte del tallo (knife - cut) (f) y márgenes de hojas quedan pequeñas, deformadas y quebradizas (g) (Fuente: Gentileza Ing. Agr. Javier Brenner, Asesor privado, consultor en producciones intensivas, coordinador grupo Crea Arauco, fotos tomadas en Provincia Entre Ríos, Argentina (2004)).

5.1.20 Síntomas de Deficiencia en Maíz

(Fuentes: Bonilla et al, 1994; Del Canto, 2001; Sindoni et al, 1994)

- Clorosis intervenal y deformación de la hoja.
- La floración puede ser inhibida por presentarse necrosis de las espiguillas.
- Disminución de la capacidad de producción de polen y poco desarrollo del tubo polínico (Agarwala et al., 1981, citado por Sindoni et al, 1994), lo que conduce a la producción de mazorcas mal formadas, pequeñas y con pocos granos (Mozafar, 1987, citado por Sindoni et al., 1994).



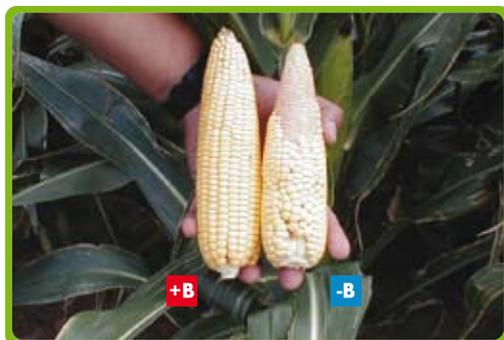


Figura 68. Deficiencia de Boro en maíz afectando a hoja con clorosis intervenal y a la mazorca. Cabe señalar que la mazorca del lado izquierdo es normal en comparación con mazorca del lado derecho, la cuál presenta falta de desarrollo de granos (Fuente: Gentileza Asesor Técnico del Noroeste de México (Sinaloa, Sonora) y Argentina (Salta, 2001) Ing. Agr. Pedro Del Canto).

5.2 Toxicidad del Boro

Una característica común de todos los micronutrientes es que son requeridos en cantidades muy pequeñas. También hay que señalar que todos ellos son nocivos cuando sus formas asimilables están presentes en el suelo en grandes cantidades (Buckman y Brady, 1977).

Cabe recordar, como se mencionó anteriormente, que la diferencia en la movilidad del Boro en las especies determina la diferencia que puede existir en la manifestación de los síntomas de toxicidad de Boro en las plantas. En aquellas en las cuales el Boro es inmóvil, el nutriente se acumula siempre en el ápice y en los bordes de las hojas viejas, como en el nogal. Los síntomas de toxicidad de Boro en estas especies se presentan siempre como quemaduras en los márgenes y en la punta de las hojas (Brown y Hu, 1998).

Por otro lado, cuando el Boro es móvil en las plantas, la toxicidad se presenta como necrosis descendente de los brotes jóvenes, abundante secreción de resina en la axila de la hoja y presencia de lesiones corchosas de color marrón a lo largo del tallo y los pecíolos, en lugar de la quemadura marginal en la hoja. La necrosis descendente inducida por la toxicidad de Boro se observa en el manzano, albaricoque o damasco, cerezo, melocotón, pera y ciruela. La presencia de estos síntomas "poco comunes" de toxicidad de Boro no se restringe sólo a plantas de los géneros *Prunus*, *Malus* y *Pyrus*, como se señaló. Por ejemplo, el apio responde a la toxicidad de Boro produciendo hojas jóvenes deformadas, tallos amargos y deformes, sin síntomas de quemaduras en el margen foliar. Se conoce que el Boro es móvil en el floema del apio, toda vez que

el apio, al igual que los miembros del género *Prunus*, utiliza un poliol como fotosíntato primario de transporte de Boro (ver Capítulo 2) (Brown y Hu, 1998). En consecuencia, como el Boro no se acumula en las hojas más viejas de especies en las cuales el Boro es móvil, las hojas viejas no son adecuadas para la determinación de la toxicidad en esas especies. Las hojas apicales jóvenes o el tejido del fruto son mejores indicativos para estas especies. Esta observación condujo a difundir la determinación de Boro en la cáscara externa del fruto del almendro, en California, para definir el estado nutricional (Brown y Hu, 1998).

En especies con movilidad limitada, la concentración del elemento en hojas viejas permanece como un buen indicativo de la toxicidad de Boro (Brown y Hu, 1998).

En general las toxicidades pueden ocurrir con cantidades 5 a 10 veces mayores a las recomendaciones normales en campo (2 a 3 kg/ha).

Entre las especies frutales más susceptibles al exceso de Boro se encuentran la vid, el nogal, el duraznero, el kiwi y los cítricos. En estos últimos, sin embargo, existen portainjertos tolerantes como el *Citrus macrophylla* (Razeto, 1993). En Cítricos se ha observado en una misma rama síntomas de toxicidad en hojas viejas y de síntomas de deficiencias en hojas nuevas (el Boro no es móvil).

La toxicidad con Boro se puede presentar en suelos de regiones áridas o semiáridas que reciben aguas de drenaje provenientes de sedimentos marinos ricos en Boro, en suelos regados con agua con más de 0,5 ppm de Boro y en suelos altamente fertilizados con Boro (Gordon 1966 citado por Bonilla et al., 1994).

Los síntomas de toxicidad de Boro son similares en la mayoría de las especies de plantas. Se presenta como una clorosis intervenal acompañada de necrosis a lo largo de todo el borde de la hoja. En la vid y el kiwi sólo se presenta esta última, la que a veces continúa hacia el interior en forma de puntos oscuros (Razeto, 1993). También el patrón de clorosis y necrosis se va a ubicar en los nervios laterales hacia la nervadura central y evoluciona con un oscurecimiento de las hojas y posterior necrosis, para que luego las hojas caigan precozmente (Bonilla et al., 1994).

Cuando el problema ocurre en hojas jóvenes, aún creciendo, éstas se encorvan hacia arriba o hacia abajo, debido a que dejan de crecer por los bordes pero no por el interior. Esto es especialmente notorio en vid y kiwi (Razeto, 1993).

Los síntomas de toxicidad de Boro tienen cierta similitud con aquellos que provoca la toxicidad por cloruros, la deficiencia de potasio e incluso con las que causa la propia deficiencia de Boro (Razeto, 1993).

En cítricos la toxicidad se puede presentar con hojas de color verde apagado con “pústulas” de color marrón en la superficie. Si la toxicidad es grave se produce una defoliación importante (Yara, 2003).

La toxicidad del Boro generalmente obedece al empleo de aguas de riego con altos



niveles de Boro (sobre 0,5 a 1 ppm) que por lo general se presentan en zonas áridas. También se puede dar la toxicidad al aplicar fertilizantes boratados, pues en el caso de este elemento es fácil pasar de una situación de deficiencia a otra en exceso, de ahí la importancia de la dosificación adecuada (Razeto, 1993).

Además, Bar y otros colaboradores, citado por Yara, en Plantmaster (2003) han mostrado que el uso de fertilizantes nítricos reduce la acumulación de Boro en los árboles. Mantener el nivel de calcio en un rango óptimo ayuda a regular la acumulación de Boro por debajo de los niveles tóxicos (Fuente: Yara, 2003).

Existen suelos que, por su origen, tienen altos niveles de Boro. Es el caso de aquellos derivados de sedimentos marinos o de otro material rico en Boro, especialmente en zonas áridas.

Los niveles de toxicidad en mg en Boro/kg de materia seca de hojas en otros cultivos son de 100 para maíz, 400 para pepino y 1.000 para zapallo. En alfalfa se tienen niveles de deficiencia de Boro de 20 ppm y tóxico de 100 ppm (Gupta, 1991 citado por Bonilla et al., 1994). Las concentraciones tóxicas o críticas para yuca en las partes aéreas de las plantas jóvenes son de 140 mg de B/kg (Asher et al., 1980, citado por Bonilla et al., 1994) (ver Tablas en Capítulo 4 y Figuras 69 a 78).



Figura 69. Síntomas de toxicidad de Boro en vid (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 70. Síntomas de toxicidad de Boro en kiwi (Fuente: Razeto, 1993).



Figura 71. Síntomas de toxicidad de Boro en limonero (a) (Fuente: Razeto, 1993) y en limonero var. Eureka (Valle de Copiapó, Chile) (b) (Fuente: Gentileza de Dr. Thomas Fichet, Universidad de Chile, 2008).



Figura 72. Hojas de cítricos afectados por toxicidad de Boro, como resultado de alto contenido de Boro en las aguas de riego aplicadas (Fuente: Razeto, 2009, publicación en imprenta).

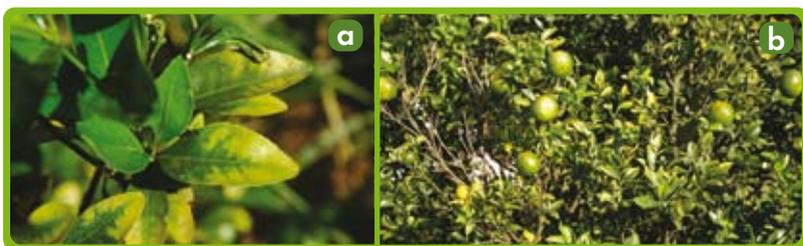


Figura 73. Hojas de mandarinos afectados por toxicidad de Boro (a y b) (Fuente: Gentileza de Sr. Barry Bull, Jefe Agrónomo de Yara Asia, tomadas en Brasil (Sao Paulo, 2005).





Figura 74. Síntomas de toxicidad de Boro en hojas de rosas en donde se aprecian los dientes de las hojas viejas que se tornan café y negro (a) (Fuente: Holwerda, tomada en México, 2004) y presencia de manchas color café en hojas viejas (b), menor crecimiento de raíces (planta del lado izquierdo) (c) y reducido desarrollo de plantas con alta defoliación en la variedad Madame Delbard (d) (Fuente: Gentileza Agrólogo MSc. Daniel Ortega R, Director MIRFE G.R. CHIA S.A., tomadas en Sabana de Bogotá, Colombia, 1992).



Figura 75. Toxicidad de Boro en tomate: provoca pequeñas manchas de color café a lo largo de los márgenes de las hojas (Fuente: Applied Plant research, Naaldwijk, citado por Holwerda en SQM S.A, 2005).



Figura 76. Toxicidad de Boro en mangos provoca una extrema inhibición del desarrollo de nuevos brotes y caída de hojas (a) (Fuente: Oosthuyse, citado en SQM S.A, 2006) y provoca clorosis en los márgenes de las hojas (b) (Fuente: Razeto, 2009, publicación en imprenta).



Figura 77. Toxicidad de Boro en guanábana (Valle de Azapa, Chile) (Fuente: Gentileza de Dr. Thomas Fichet, Universidad de Chile, 2008).



*Figura 78. Toxicidad de Boro en hojas de pimiento; se aprecia una grave quemadura en los márgenes de la hoja (Fuente: cortesía de PPO Naaldwijk, citado por Berríos et al., en **SQM**, 2007).*



6 Características de Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) en Cuanto a Corregir Desbalances Nutricionales Ocasionados por Boro

6.1. Principales Fuentes de Boro Utilizadas como Materia Prima en Agricultura

Todos los depósitos naturales que contienen Boro son de diferente solubilidad. Sin embargo, esta misma característica permite la acumulación en depósitos naturales de diferentes orígenes geológicos y en diferentes ambientes, que liberan soluciones de Boro dominadas por aniones del tipo Ácido Bórico (H_3BO_3) y boratos (H_2BO_3). Estas soluciones ricas en Boro, señala Rojas (2004), son susceptibles de ser empleadas para corregir las deficiencias en cultivos y frutales.

Si bien existen más de 80 diferentes tipos de minerales que contienen Boro, las principales fuentes del mundo son cuatro (Rojas, 2004):

- Tincal o bórax, $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$: corresponde a un abundante depósito empleado históricamente por los romanos para preparar vidrio. Es de moderada solubilidad
- Kemitita, $Na_2B_4O_7 \cdot 4 H_2O$: es el segundo tipo de depósito más abundante del mundo (principalmente en California), en forma de grandes cristales, mayores de 1,2 m. De moderada solubilidad
- Ulexita o Boronatocalcita, $NaCaB_5O_9 \cdot 8 H_2O - (NaCaB_3O_6(OH)_6 - 5 H_2O)$: Toma diferentes formas, como hongo, coliflor o pelotas de algodón. Fuente parcialmente soluble.
- Colemanita, $Ca_2B_8O_{21} \cdot 5 H_2O$: similar a la Ulexita, pero de escasa solubilidad.

Chile figura entre los países de mayor importancia mundial en recursos boratados (alrededor de 76 mil toneladas métricas de B_2O_3) debido a que los depósitos de ulexita abundan en los salares de Tarapacá, Antofagasta y, en particular, en el Salar de Atacama. Pues, precisamente en este último salar se encuentra la producción de Ácido Bórico como materia terminada, para lo que se utiliza como materia prima el "caliche" extraído desde las salmueras (ver sección 6.2 proceso de producción de Ácido Bórico). Ver Figuras 80 y 81.



Figura 79. Mapa de ubicación del Salar de Atacama, en el Norte de Chile (SQM, 2001).

Cabe señalar que durante el desarrollo histórico de la extracción de estos yacimientos, en 1913 se logró abastecer el 50 por ciento del consumo mundial (Rojas, 2004).

Los Boratos de Sodio son fuentes clásicas de suministro de Boro, utilizados sólo en la aplicación al suelo. Por otro lado, existen productos que suministran Boro a las plantas cuya aplicación es foliar. Son muy efectivos por su alta solubilidad y mayor compatibilidad con los agroquímicos. Ver Cuadro 18.

En los abonos simples y abonos mayores NPK, con adiciones de boratados, se suministra Boro a las plantas a través de los siguientes productos, los cuales se comercializan más elaborados.



Cuadro 18. Principales fuentes de Boro utilizadas como materia prima en la agricultura (Fuentes: Adaptado por Palma (2008), de acuerdo a Bonilla et al. (1994); New AG Internacional, (2007); Rojas, 2004).

Nombre materia prima	Fórmula	% de Boro (w/w)	Solubilidad
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	11,3 - 11,5	10,4%
Tetra borato de sodio	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	14	13%
Tetra borato de sodio (anhidro)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	20	Baja
Octaborato de sodio		21	Baja
Solubor (parcialmente anhidro)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ + $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	20,5	Alta
Ácido bórico	H_3BO_3	17,5	
Frits de boro	$\text{Na}_2\text{B}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$	10 - 17	Baja
Etanolamina de boro (líquido)		10 - 11	
Colemanita	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	11 - 13	1,5% Escasa Solubilidad
Pentanonato de amonio Ulexita o boronatrocalcita	$\text{NH}_4\text{B}_5\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{NaCaB}_5\text{O}_8(\text{OH}) \cdot 6,5 \text{H}_2\text{O}$	19,9 12 - 14,5	7% Parcialmente soluble

Los productos foliares a base de Boro son formulados a partir de Ácido Bórico, poliboratos de sodio o alguna combinación de ambos.

Los fertilizantes basados en poliboratos de sodio, según Brown (2007), normalmente son una mezcla de diferentes formas de boratos de variadas composiciones químicas.

Cuando el Ácido Bórico o los poliboratos de sodio son mezclados con agua producen las mismas dos especies químicas de Boro disueltas:

- Una molécula no desasociada de Ácido Bórico.
- Un anión de borato con carga negativa.

Esta cantidad de Ácido Bórico en la solución es inversamente proporcional a la cantidad de moléculas de borato, y las proporciones relativas de ambas están determinadas por el pH. En la medida que el pH aumenta, el Ácido Bórico se convierte en borato. En la medida que el pH disminuye, el borato se vuelve a transformar en Ácido Bórico. En consecuencia, señala Brown (2007), es fundamental saber que el pH del agua con la que se va a aplicar el producto, y no la forma original del Boro que viene en el fertilizante, es lo que va a determinar qué forma del Boro va a estar presente en la aplicación foliar.

Cabe señalar además que existen fuentes de diferentes formulaciones para ser aplicadas en la agricultura. Lo dinámico de esta industria permite acceder a productos en forma líquida, floable, granulada, microgranulada y en polvo para aplicaciones al suelo, foliar o en fertirriego (Brown, 2007).

6.2 Proceso de Producción del Ácido Bórico y su Importancia como Materia Prima

Como se señaló anteriormente, los productos boratados en Chile se producen preferentemente en los yacimientos y salares de la alta cordillera y la depresión intermedia (Rojas, 2004). Sin embargo, se consideran de gran importancia los boratos ligados a la explotación salitrera (caliches) susceptibles de recuperar por evaporación solar, como es precisamente el proceso de producción de Ácido Bórico que se describe a continuación.

El proceso de producción del Ácido Bórico se inicia con la extracción de la salmuera del Salar, y su disposición en pozas de preconcentración para favorecer la evaporación solar. Posteriormente, la salmuera concentrada se transfiere a un segundo grupo de pozas, donde inicialmente precipita silvinita, mezcla de halita (NaCl) y silvita (KCl). Una vez que la salmuera alcanza su nivel de saturación, comienza a cristalizar una mezcla de sales dobles de potasio, magnesio y litio, además de NaCl y otras sales. Las sales sólidas cosechadas de estas pozas son transportadas a las plantas de potasio y sulfato de potasio, mientras que la salmuera final de estas pozas va a la planta de Ácido Bórico. Allí se somete a una acidificación con ácido sulfúrico, que produce cristales de ácido bórico. Estos cristales son filtrados y lavados en contracorriente en tres etapas sucesivas. Finalmente son secados, y se obtiene un producto final con alto grado de pureza. (Figuras 80 y 81). SQMC, 2001.

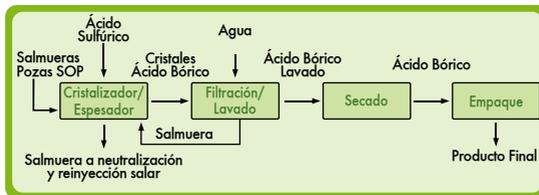


Figura 80. Diagrama de flujo de la producción de Ácido Bórico (Fuente: SQM, 2001).



Figura 81. Pozas de concentración de sales con energía solar (Fuente: Gentileza, Departamento de Marketing, **SQM**, 2007).

6.3 Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) de SQM

De la serie de productos que contienen Boro en su configuración y que son desarrollados por **SQM** en sus 3 diferentes líneas de productos de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) Qrop™, Ultrasol™ y Speedfol™**, destacan cuatro alternativas, cuyo uso dependerá de la especie cultivada y la estrategia adoptada de acuerdo a las condiciones en las cuales el cultivo se lleve a cabo. Así tenemos los productos de NVE llamados:

- **Qrop™ Boronat – 32 AG y Qrop™ Boronat - 30 AG**
- **Ultrasol™ Micro Boro**
- **Speedfol™ B SP**

6.3.1. Características Técnicas de Qrop™ Boronat - 32 AG y Qrop™ Boronat - 30 AG

Corresponde a un producto granulado de la línea de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)** llamada **Qrop™**, basado en Ulexita.

Cuadro 19. Hoja de especificaciones técnicas del producto **Qrop™ Boronat - 32 AG**.

Qrop™ Boronat - 32 AG			Grado Agrícola - Granulado
Descripción General			
Fórmula Química	NaCaB ₃ O ₆ x 8 H ₂ O		
Apariencia	Granulos Verde/Gris		
Código Interno	Boro 32 AG		
Número Código	4		
Especificaciones Químicas Garantizadas			
Boro	como B ₂ O ₃ (*)	%	32 min
	como B (**)	%	9,9 min
Propiedades Físicas			
Sodio	Na	%	6 - 7
Humedad	H ₂ O	%	4
Arsénico	As	ppm	800
Calcio	Ca	%	8 - 10
Potasio	K	%	0,4 - 0,7
Magnesio	Mg	%	0,6 - 0,8
Hierro	Fe	%	0,15 - 0,4
Sulfato	SO ₄	%	6 - 10
Cloro	Cl	%	2 - 6
Análisis Granulométrico Típico (acumulativo %)			
Malla Estándar	Malla	mm	
> 5	> 5	> 4	5%
10 - 5	9 - 5	2 - 4	95%
< 10	< 9	< 2	0%
Propiedades Físicas			
Densidad (Granel)	700 - 900 Kg/m ³		
Resistencia a Abrasión	0,6 - 25% Degradación		
Ángulo de reposo	40° - 49°		



Nota: (*) Para convertir desde B₂O₃ a Boro elemental (B), multiplicar por 0,3106.
 (**) Para convertir desde Boro elemental (B) a B₂O₃ multiplicar por 3,2199.



Cuadro 20. Hoja de especificaciones técnicas del producto **Qrop™ Boronat - 30 AG**.

Qrop™ Boronat - 30 AG		<i>Grado Agrícola - Granulado</i>	
Descripción General			
Fórmula Química	NaCaB ₂ O ₆ × 8 H ₂ O		
Apariencia	Gránulos Verde/Gris		
Código Interno	Boro 30 AG		
Número Código	2055		
Especificaciones Químicas Garantizadas			
Boro	como B ₂ O ₃ (*)	%	30 mín.
	como B (**)	%	9,3 mín.
Propiedades físicas			
Sodio	Na	%	6 - 7
Humedad	H ₂ O	%	4
Arsénico	As	ppm	800
Calcio	Ca	%	8 - 10
Potasio	K	%	0,4 - 0,7
Magnesio	Mg	%	0,6 - 0,8
Hierro	Fe	%	0,15 - 0,4
Sulfato	SO ₄	%	6 - 10
Cloro	Cl	%	2 - 6
Análisis Granulométrico Típico (Acumulativo%)			
Malla Estándar US	Malla	mm	
> 5	> 5	> 4	5%
10 - 5	9 - 5	2 - 4	90%
< 10	< 9	< 2	5%
Propiedades Físicas			
Densidad (Granel)	700 - 900 Kg m ³		
Resistencia a abrasión	0,6 - 2,5% Degradación		
Ángulo de reposo	40° - 49°		



Nota: (*) Para convertir desde B₂O₃ a Boro elemental (B), multiplicar por 0,3106.

(**) Para convertir desde Boro elemental (B) a B₂O₃ multiplicar por 3,2199.

6.3.2. Características Técnicas de Ultrasol™ Micro Boro

Corresponde a un producto **NVE** de alta solubilidad cuyo principal componente es el Ácido Bórico, lo que permite ser aplicado en fertirrigación para corregir en forma preventiva o curativa las deficiencias de este elemento.

Cuadro 21. Hoja de especificaciones técnicas del producto **Ultrasol™ Micro Boro**.

Ultrasol™ Micro Boro		Grado Estándar - Cristalizado CAS N° 10043 - 35 - 3	
Descripción General			
Fórmula Química	H ₂ BO ₃		
Apariencia	Cristales color blanco		
Código Interno	ABO		
Especificaciones Químicas Garantizadas			
Pureza	H ₂ B ₂ O ₃	%	99,6 mín.
Boro	B ₂ O ₃ (*)	%	56,3 mín.
Sulfato	SO ₄	%	0,05 máx.
Óxido de Hierro	Fe C ₂	%	0,001 máx.
Propiedades Físicas			
Peso molecular	61,83		
Punto de fusión	169 °C		
Solubilidad (en agua a 20°)	5,0 g/100 cm ³		
Gravedad Específica	1,512		

Ultrasol™ micro
Boro

Nota: (*) Para convertir desde B₂O₃ a Boro elemental (B), multiplicar por 0,3106.

6.3.3. Características Técnicas de Speedfol™ B SP

Corresponde a una formulación sólida en microcristales (polvo) para ser aplicado como una verdadera solución de ingrediente activo después de ser diluido en agua. Por ser dicha formulación un polvo altamente soluble (SP), es posible de ser aplicada vía fertirrigación o en aplicaciones foliares. Se trata de un fertilizante Poliborato cristalino altamente soluble (SP) en agua que mejora la cuaja, aumenta el rendimiento e influye positivamente sobre la calidad.

Sus características son:

- Contenido de Boro es de 17%.
- pH = 5 (al 5% de solución); que sirve como producto Buffer, derivado del Ácido Bórico (4 horas). Es la única forma bajo la cual la planta puede absorber Boro.
- Máxima solubilidad a 20° C, son 55 g/l.
- Apariencia de polvo blanco fino.
- Posee humectante, una alta disolución y absorción rápida.
- Libre de Na y bajo índice salino.
- Libre de metales pesados.



Cabe señalar que **Speedfol™ B SP** se encuentra disponible en bolsas de 25, 12, 10 y 1 kg de capacidad, dependiendo de la demanda de cada mercado (Figura 82).



Figura 82. Formulación en polvo altamente soluble (SP) de **Speedfol™ B SP**. Dicho producto se encuentra disponible en bolsas de 1 kg (a), y 10, 12 y 25 kg de capacidad (b y c).

El manejo de fertilización de cultivos con Boro está directamente influenciado por los patrones de movilidad del elemento en la planta. Estudios demuestran, notoriamente, que el Boro aplicado foliarmente es retranslocado hacia los órganos en crecimiento en las especies, con significativa movilidad en el floema. Esto señala que las aplicaciones foliares de Boro pueden usarse efectivamente en cualquier momento que estén presentes hojas funcionales, con el fin de corregir la deficiencia y suplir Boro para los futuros tejidos de la flor y el fruto. Se han observado beneficios significativos de la aplicación foliar de Boro en la fructificación en muchas especies frutales como la almendra, ciruelo y otros, como consecuencia de la movilidad del Boro (Brown y Hu, 1998).

Por otro lado, en especies en las cuales el Boro es inmóvil, aplicado vía foliar no se transloca del sitio de aplicación y no puede suplir los requerimientos de Boro del tejido todavía no formado (Brown y Hu, 1998).

En consecuencia, en estas especies las aplicaciones de Boro para corregir la deficiencia se deben hacer directamente en el tejido de interés. En frutales, donde el Boro es inmóvil pero esencial para el proceso de floración, las aplicaciones son efectivas cuando se localizan directamente en los botones florales o en las flores (Brown y Hu, 1998). De manera que utilizar una fuente soluble de alta concentración es fundamental para garantizar su absorción foliar, la que se obtendría a través del producto derivado de Ácido Bórico de la línea de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)**. Este producto para aplicaciones foliares desarrollado por **SQM** es **Speedfol™ B SP**, cuyas ventajas y beneficios en su uso mostramos a continuación. En **Speedfol™ B SP** como alternativa de productos foliares en el mercado mundial, se destacan:

- Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre la velocidad de disolución.
- Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre la recuperación del nivel de Boro en el tejido foliar.
- Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre el pH de la disolución y la eficiencia de agroquímicos.
- Ventajas, beneficios y comparación con otros productos del mercado.

- **Speedfol™ B SP** es parte de la Familia de Productos de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)** para Aplicación Foliar **Speedfol™**, el cual es el nuevo proyecto de la compañía **SQM**.

6.3.3.1 Efecto de Speedfol™ B SP Sobre la Velocidad de Disolución

El producto **Speedfol™ B SP** tiene la más alta velocidad en comparación con otras fuentes de Boro tales como Octoborato de Sodio (Solubor) y Ácido Bórico estándar (Figura 83 a y b).

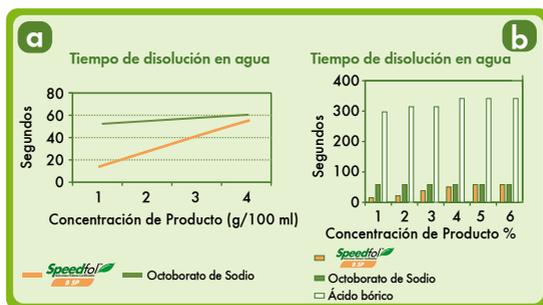


Figura 83. Velocidad de disolución de diferentes fuentes de Boro en su concentración (g/100 ml) (a) y porcentaje (b) (Fuente: Holwerda, 2004).

6.3.3.2 Efecto de Speedfol™ B SP Sobre la Recuperación del Nivel de Boro en el Tejido Foliar

Speedfol™ B SP fue la fuente más eficiente de Boro para aplicación foliar en maní, algodón y en raps para aceite. En este último cultivo hay que destacar que el mayor porcentaje del elemento Boro recuperado después de una lluvia (mayor a 60%) fue observado con **Speedfol™ B SP** en relación al más bajo de los otros productos boratados competidores, que mostró un 44 % de recuperación del contenido de Boro en el tejido (ver capítulo 9, sección 9.4 para mayores detalles). En consecuencia **Speedfol™ B SP** versus otros polímeros presentó el menor nivel de Boro removido del tejido bajo condiciones de post lluvias desde la aplicación (ver Figuras 84).



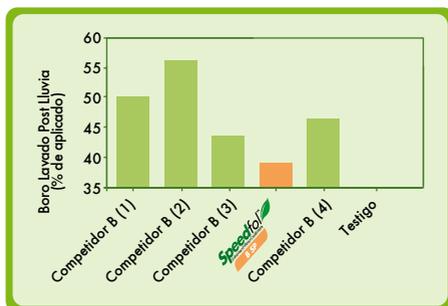


Figura 84. Contenido de Boro removido después de una lluvia de 45 mm (Fuente: Holwerda, 2004).

6.3.3.3 Efecto de Speedfol™ B SP sobre el pH de la Disolución y la Eficiencia de Agroquímicos.

En comparación con otras fuentes de Boro, el producto **Speedfol™ B SP** es el único que **acidifica el tanque de mezcla**, considerando que generalmente se aplican en conjunto fuentes boratadas y otros agroquímicos. A mayor nivel de pH ácido en la solución del estanque de mezcla **Speedfol™ B SP** ayuda a mejorar:

- Disponibilidad de nutrientes.
- Aplicación foliar de nutrientes en la hoja.
- Estabilidad del ingrediente activo de los pesticidas (ver cuadros 22 a 25).

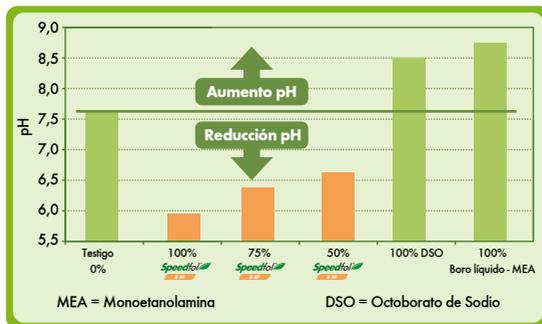


Figura 85. Efecto de la acidificación de la solución preparada al usar **Speedfol™ B SP** en relación a otros productos de polímeros en el mercado (Fuente: Holwerda, 2007).

A continuación se describen los requerimientos óptimos de pH para los diferentes ingredientes activos de agroquímicos, aplicados muchas veces en el mismo estanque mezclador con productos boratados tales como **Speedfol™ B SP**.

Cuadro 22. Requerimientos óptimos de pH de **insecticidas** en relación a calidad de agua rectificada (Fuente: *The pesticide manual, a British Crop Protection Council Publication (Gentileza Agchem, 2002)*).

Requerimiento óptimo de pH de Insecticidas en relación a la Calidad de Agua rectificada					
Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta
Abamectina	5,7	Diclorvos	3	Mevinfos	3,5
Acefato	3	Dicofol	3,5	Monocrotofos	5,7
Acetamiprid	5,7	Dienocloro	3,5,7	Ometoate	3
Acrinatrin	3,5	Difenacoum	5	Oxamil	5
Aldicarb	3,5,7	Diffubenzuron	5,7	Oxidemeton - metil	3,5
Alfa cipermetrina	3	Dimetoate	3,5,7	Paration	3,5
Amitraz	7	Dinocap	3,5	Metil - paration	7
Azametifos	5,7	Disulfoton	3,5,7	Permetrin	3,5
Azinfos - metil	5	Endosulfan	5,7	Fenitoate	3
Azocicloflin	5,7	Esfenvalerato	5,7	Forate	5,7
Bacillus thuringiensis	7	Etoprofos	5,7	Fosmet	3
Benfuracarb	5,7	Etoxazole	7	Foxim	3,5
Benzoximate	3	Fenamifos	5,7	Piperonilbutoxido	3,5,7
Beta - cilflutrina	3	Fenarimol	3,5,7	Pirimicarb	5
Beta - cipermetrina	5,7	Fenazaquin	7	Profenofos	5,7
Bifentrina	5,7	Oxido fenbutalin	7	Propargite	5
Bioalletrina	5,7	Fenitroflon	3,5,7	Propoxur	5,7
Brodifacoum	5	Fenoxicarb	3,5,7	Protiofos	3,5,7
Bromopropilato	5,7	Fenpropatrin	3,5	Pimetrozina	5
Bupirimate	7	Fenpiraximate	3,5,7	Pirasafo	7
Buprofezin	3,5,7	Fenitron	3,5	Piretrins	3
Cadusafus	5	Fenvalerato	3	Quinalfos	5
Carbaril	5,7	Fipronil	5,7	Azufre	7
Carbofurano	3,5,7	Flocoumafen	5,7	Tau - Fluvalinate	5
Carbosulfan	7	Flufenoxuron	5,7	Tebufenozide	7
Cartap HCl	3	Folpet	5,7	Tellubenzuron	7
Cinometionato	3	Formenato	5	Tellutrin	3,5,7
Clorpiricin	3	Formolion	5	Temefos	5,7
Clorpirifos	5,7	Fosfataate	5	Terbufos	5,7
Clofentezine	5	Furacilcarb	7	Tetrachlorvinfos	3,5,7
Coumateotalil	3,5,7	Gamma - BHC	5,7	Tetradifion	3,5,7
Ciflutrin	3	Hidrametlflon	3	Tetrametrina	5,7
Cihalotrin	7	Imidacloprid	5,7	Tiodicarb	5,7
Cihexalin	5,7	Isazofos	5	Tiometon	5,7
Cipermetrina	3	Isofenfos	3,5,7	Tiofanato - metil	5,7
Cipermetrina high - cis	3	Lambda - cihalotrin	3	Tralometrin	3
Cromazina	5,7	Lufenuron	5	Triadimenol	5,7
Dasomet	7	Mercaptation	7	Triazofos	7
Deltametrina	3,5,7	Metamidofos	5	Trichlorfon	3
Dementon - S - metil	3,5	Metidation	5,7	Triflurion	3,5,7
Diafenturion	5,7	Meliocarb	3	Triforine	7
Diazinon	7	Metomilo	5	Z - Cipermetrina	5
Dicloropropeno	5,7	Bromuro de metilo	5		



Cuadro 23. Requerimientos óptimos de pH de **Fungicidas** en relación a calidad de agua rectificada (Fuente: *The pesticide manual, a British Crop Protection Council Publication* (Gentileza de Agchem, 2002)).

Requerimiento óptimo de pH de Fungicidas en relación a la Calidad de Agua rectificada					
Agua correcta 3,5 o 7,0					
Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta
Benalaxil	5 y 7	Benomilo	5	Bitertanol	3, 5, 7
Bordales	7	Bromuconazole	3, 5, 7	Bupirimato	7
Captan	5	Carbendazima	5, 7	Carboxin	3, 5, 7
Cinometionato	7	Cloropicrin	3, 5	Clorothaloniil	3, 5
Carbonato A de Cu	7	Hidróxido de Cu	7	Oxicloruro de Cu	7
Sulfato de Cu	7	Cimoxanil	3, 5, 7	Ciproconazole	3, 5, 7
Ciaprodinil	3, 5, 7	Dazomet	7	Dixhlofluanid	3
Diclorofen	5	Dicloran	5, 7	Difenconazole	3, 5, 7
Dimetomorf	5, 7	Dinocap	3, 5	Difenilamina	7
Etoxisulfuron	7	Disulfoton	7	Ditianon	5, 7
Dodemorf	5, 7	Epoxiconazole	3, 5, 7	Edb	3, 5
Febuconazole	3, 5, 7	Fenarimol	3, 5, 7	Fentin acetato	7
Fentin hidroxido	7	Fludioxonil	5, 7	Fluquinconazole	7
Flusilazole	3, 5, 7	Flusulfamide	3, 5	Flutriafol	3, 5, 7
Folpet	5	Fosetil-aluminio	7	Furalaxil	5, 7
Guazatine	5, 7	Hexaconazole	3, 5, 7	Hidroxiquinoline s	7
Imazalil	5, 7	Imazalil sulfato	5, 7	Iprodione	3, 5
Kresoxim-metil	7	Cal	7	Cal azufre (sulfocal)	7
Mancozeb	7	Maneb	7	Metaxil	5, 7
Metaxil-m	7	Metribuzin	7	Metiram	7
Metil bromide	3, 5, 7	Miclobutanil	3, 5, 7	Nitrotal-isopropil	7
Nuarimol	5	Ofurace	5	Oxadixil	5, 7
Oxicarboxun	5	Penconazole	3, 5, 7	Pencicuron	7
Prochloraz	7	Prochloraz mn cl	7	Procimidone	5
Propamocarb hcl	5, 7	Propiconazole	3, 5, 7	Propineb	7
Piarazofos	7	Pirifenox	3, 5, 7	Pirimetaniil	3, 5, 7
Quintozene	3, 5	Azufre	7	Tebuconazole	3, 5, 7
Tiabendazole	3, 5	Tiofanate-metil	5, 7	Tiram	7
Tolchlofos-metil	7	Triadimefon	3, 5, 7	Triadimenol	3, 5, 7
Tridemorf	7	Triforine	5, 7	Tribenuron-metil	7
Trifitconazole	3, 5, 7	Vicosolin	5, 7	Óxido de zinc	7

Cuadro 24. Requerimientos óptimos de pH de **Herbicidas** en relación a calidad de agua rectificada (Fuente: The pesticide manual, a British Crop Protection Council Publication (Gentileza Agchem, 2002)).

Rendimiento óptimo de pH de herbicidas en relación a la calidad de agua rectificada					
Agua correcta de pH entre 3,5 o 7					
Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta
Alaclor	5,7	Ametrina	5,7	Amitrole	7
Atrazina	5,7	Bentfluralin	5,7	Bifenox	5,7
Bromacil	7	Bromoxinil	5,7	Cletodim	7
Clodinafoprogatil	3,5	Cloridazon	3,5,7	Clorimuronetil	5
Clorsulfuron	7	Clopiralid	5,7	Cianazine	7
Cicloxidim	3,5	2,4 - D	5	2,4 - DB	5
Dazomet	7	Dicamba	3,5,7	Biclofopmetil	5
Diffufenican	5,7	Dimetenamid	5,7	Diquat	7
Diflurofenacil	7	EPTC	5,7	Etidimuron	3,5,7
Etoxisulfuron	7	Fenoxaprop-Petil	7	Flazasulfuron	7
Fluazifop-Pbutil	5,7	Flumetsulam	5	Flumioxazin	5
Flumeturon	3,5,7	Fluoroglicofen	5	Fluochloridone	7
Fluoxipir	3	Fomesafen	3,5,7	Glifosinate-ammonio	3,5,7
Glifosato	Power-up	Trimesium glifosato	Power-up	Halosulfuron	7
Haloxifop-R metil ester	5,7	Hexazinone	5,7	Imazapir	5,7
Imazetapir	3,5,7	Ioxinil	3,5,7	Isoxaben	5,7
Linuron	5,7	MCPA	5	MCPB	5
Metazachlor	5,7	Metabenzlazuron	7	Metamsodium	7
Metolachlor	5,7	Metsulam	7	Metribuzin	7
Metsulfuronmetil	7	MSMA	3,5,7	Nicosulfuron	7
Norfurazon	3,5,7	Orizalin	5,7	Oxadiazon	5,7
Oxiflufen	5,7	Paraquat	3,5,7	Pebulate	3,5,7
Pendimetalin	3,5,7	Picloram	3,5,7	Primsulfuron	7
Prometrin	5,7	Propachlor	5,7	Propanil	5,7
Propaquizafop	5,7	Propazine	5,7	Propizamide	7
Prosulfuron	5,7	Quizalofop-Petil	3,5,7	Rimsulfuron	7
Simazina	5,7	Tebufuron	5,7	Terbacil	7
Terbutilazina	5,7	Terbutrin	5,7	Tralkoxidim	7
Triasulfuron	7	Tribenuronmetil	7	Trifluralina	3,5,7

Cuadro 25. Requerimientos óptimos de pH de **Reguladores de Crecimiento** en relación a calidad de agua rectificada (Fuente: The pesticide manual, a British Crop Protection Council Publication (Gentileza Agchem, 2002)).

Rendimiento óptimo de pH de reguladores de crecimiento en relación a la calidad de agua rectificada Agua correcta 3,5 o 7,0					
Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta	Ingrediente Activo	Agua Correcta
Butralin	5,7	Carbanil	5,7	Cloruro de clomequat	3,5,7
Clorhalodimetil	7	Cloprop	3,5,7	Hidróxido cuprico	7
Cyanadine	7	Ciclanilide	3,5,7	2,4-d	5
Daminozida	5,7	Diclorprop	5	Dimetipin	7
Diquat	7	Diflurofenacil	7	Etefon	3
Fluazifop-pbutil	3,5,7	Forclor Fenuron	7	Gibberelinas	3,7
Glifosato	Power-up	Glifosato trimesium	Power-up	Ácido 4indol-3-butirico	3,5,7
Ácido 4indol-3-butirico	3,5,7	Hidrazida maleica	5,7	Mefluidide	7
Cloruro de mepiquat	3	Paclobutrazol	3,5,7	Dicloruro de paraquat	5,7
Pendimetalin	5,7	Clorato de sodio	7	Tidiazuron	5,7
		Uniconazole	5,7		



6.3.3.4 Resumen de Ventajas, Beneficios y Comparación de Speedfol™ B SP con Otros Productos del Mercado

Las ventajas, beneficios y comparación del producto **Speedfol™ B SP** en relación a otras fuentes boratadas del mercado mundial se aprecian en el Cuadro 26. Al comparar 1 kg de Boro Foliar **Speedfol™ B SP** equivale a 1 kg de Octoborato de Sodio (Solubor) y a 1,55 kg o 1,15 l del producto Ácido Bórico + amino etanol amina (Bortrac).

Cuadro 26. Ventajas, beneficios y comparativo de **Speedfol™ B SP** en relación a otros competidores del mercado del Boro (Fuente: Palma y Holwerda, 2004).

		Producto benchmark Solubor 20,4% B	Producto benchmark Bortrac
Productor	SQM	Borax/Río Tinto	Phosyn (Yara Vita)
Importador	SQM	BASF - COMPO	PACE (Yara Vita)
Estado Físico	Polvo fino	Polvo fino	Líquido
Ingredientes Principales	Ácido bórico, aditivos	Octoborato de Sodio (DSO)	Ácido bórico + amino etanol
Concentración p/p	17% B	20,4% B	10,9 % B
Concentración			15,0% B
pH	5	8 - 8,5	8,2
Recomendación		1 kg. de Boro foliar= 1kg. DSO	1 kg. Boro foliar = 1,55 kg/1,15 L Bortrac
Ventaja SQM vs benchmark		Acción ácida pH=5 Disolución más rápida en soluciones al 1 - 4% con polborato, una absorción mejorada por la hoja; humedeciente; resistente a la lluvia; libre de Sodio; bajo índice Salino, menos riesgos de quemadura de hoja.	Acción ácida pH=5 producto más concentrado resistente a lluvia
Desventaja SQM vs benchmark		ninguna	ninguna
Posicionamiento SQM		una alternativa a solubor con producto mejorado	producto más concentrado, producto mejorado, como alternativa al Bortrac.

En resumen, las ventajas y beneficios del uso de **Speedfol™ B SP** son los siguientes:

1. Es la única fuente de Boro que acidifica el tanque de mezcla.
2. Tiene la más alta velocidad de disolución en comparación con Octoborato de Sodio (Solubor).
3. Es la más eficiente fuente de Boro para aplicación foliar.
4. Tiene el más alto nivel de Boro foliar después de una lluvia considerable.
5. Es derivado del Ácido Bórico (H_3BO_3), la fuente preferida para la absorción por la planta.
6. Seguro de usar.

6.3.3.5 Speedfol™ B SP es Integrante de la Familia del Nuevo Proyecto SQM de Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) para Aplicación Foliar Speedfol™.

Cabe señalar que **Speedfol™ B SP** integra una parte de las tres formulaciones presentes en Familia de Productos de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)** para Aplicación Foliar **Speedfol™**. Entre ellas se destacan:

- Formulaciones con suspensiones concentradas SC.
- Formulaciones con líquidos solubles SL.
- Formulaciones con cristales (polvo) solubles SP.



Figura 86. Formulaciones de Productos de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)** para Aplicación Foliar **Speedfol™**.

Cabe señalar los productos siguientes de acuerdo a las formulaciones y las cuatro divisiones siguientes dentro de la familia de productos **Speedfol™** (Cuadro 27), cuyos logotipos se aprecian en la Figura 87.

Cuadro 27. Familia de Productos de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)** para Aplicación Foliar **Speedfol™** que actualmente se comercializa en países del mercado de Latinoamérica como **Chile, Perú, Ecuador y México**.

Fases fenológicas	Speedfol™ Amino Starter SC Speedfol™ Starter SP Speedfol™ Amino Vegetativo SC Speedfol™ Amino Flower&Fruit SC Speedfol™ Flower&Fruit SP Speedfol™ Balance SP Speedfol™ Multigrow SP Speedfol™ Plant Grow SP Speedfol™ Amino Calmag Plus SC
Macro/meso nutrientes	Speedfol™ Amino Calmag SL Speedfol™ Ca SC Speedfol™ K SL Speedfol™ Mg SC
Micronutrientes	Speedfol™ B SP Speedfol™ Cal bor SL Speedfol™ Zn SC Speedfol™ Zn + Mn SC
Bioestimulantes	Speedfol™ Biolife SL Speedfol™ Amino Power SL Speedfol™ Marine SL





Figura 87. Tipografías de productos de NVE para aplicación foliar **Speedfol™**.

6.3.3.6 Lanzamientos y Programas de Marketing Corporativos de Productos de Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE) Speedfol™ para Aplicaciones Foliaras a Nivel Mundial

A partir del primer semestre del año 2004, la empresa **SQM** realizó los lanzamientos oficiales de la nueva línea de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)** de aplicación foliar **Speedfol™** en varios países de Latinoamérica como Chile, Perú, Ecuador, México y de otras áreas como el Medio Oriente (ver Figura adjunta).



Figura 88. Lanzamientos oficiales de la línea de **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)** de aplicación foliar **Speedfol™** en varios países de Latinoamérica como **Chile, Perú, Ecuador, México** y **Medio Oriente** (Fuentes: Cruz, 2005; De Marez, 2006; Palma, 2004; Palma 2005).

El primer cultivo en que se destacó la necesidad de recomendar la aplicación de **Speedfol™ B** fue el algodón, basado en una campaña de marketing donde se destaca el uso de **Speedfol™ B SP** para obtener mejores rendimientos y calidad en cultivos altamente demandantes del Boro (ver Figura 89).

Un ejemplo modelo consideró al algodón como la base de un plan de marketing en EE.UU. con el objetivo de mostrar las ventajas y beneficios en los cultivos al aplicar foliarmente **Speedfol™ B**.

Así se demostró cómo al utilizar el producto **Speedfol™ B SP** en el cultivo del algodón se obtienen las siguientes mejoras (Universidad de Georgia, EE.UU.):

- Mejor cuaja, mejor calidad de bellota de algodón.
- Mejor Rendimiento.



Figura 89. Mejor cuaja, mejor calidad y rendimiento de mota o bellota de algodón al aplicar **Speedfol™ B SP** en EE.UU. (Fuente: Cortesía departamento de marketing, **SQM** 2007).



7 Recomendaciones en el Uso de Productos con Boro

Todos los fertilizantes boratados como sales de variable soluble son susceptibles de contaminar suelos, aguas y atmósfera, si no son manejados adecuadamente. Así tenemos que los aniones boratados altamente solubles, como el $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ son susceptibles de constituir un elemento de contaminación difusa en los suelos sujetos a la lixiviación, de modo que puedan alcanzar napas freáticas. También podría ocurrir con moléculas neutras como el Ácido Bórico en menor grado, con aniones boratados derivados de fuentes de solubilidad intermedia como las ulexitas y aun más insolubles como las colemanitas. Los riesgos de contaminación difusa son mayores al emplear altas cargas de agua y en suelos de pH ácido y de texturas gruesas (arenosos). Rojas (2004).

Los fertilizantes como sales solubles deben almacenarse de la siguiente manera (Rojas, 2004):

- a) En lugares frescos y secos.
- b) En envases plásticos y sellados.
- c) Aislados del piso al menos por una cubierta impermeable y tapados con plásticos si son almacenados a granel.
- d) Debidamente etiquetados, incluyendo características de concentración, solubilidad, humedad y otras propiedades.
- e) Separados de fuentes de energía calórica u otras fuentes de agua.

Existen varias formas de aplicación de Boro, que son: directamente al suelo en superficie, localizado o bien directamente al cultivo por vía foliar.

En algunos casos se incorpora a los fertilizantes compuestos y complejos para su utilización en zonas y cultivos concretos (Buckman y Brady, 1977).

Utilizando todos los antecedentes que demuestran el comportamiento del Boro dentro de la planta (Capítulo 3) en las diferentes especies, permiten plantear diferentes estrategias, que se resumen a continuación.

7.1 Estrategias para la Prevención o Control de las Deficiencias de Boro en Plantas

7.1.1 Especies que Contengan Polioles en sus Estructuras Químicas

La movilidad de las aplicaciones foliares de Boro en especies como Prunus, Pyrus y Malus, y presumiblemente otras especies productoras de manitol y sorbitol, sugieren que las aplicaciones de Boro pueden ser usadas eficientemente en cualquier momento

en que las hojas funcionales se encuentren presentes. Para ello se demostró que el Boro es rápidamente transportado hacia los tejidos que más lo demandan. La formación del éster del borato del sorbitol ha sido verificada por Makke et al. (1985).

En los géneros donde el Boro se comporta como inmóvil, las aplicaciones foliares sólo son efectivas si se aplican directamente sobre los tejidos que precisan Boro. Esto indica, claramente, que las aplicaciones foliares de Boro en especies productoras de sorbitol corrigen la deficiencia de Boro en los frutos. La alta acumulación de Boro en frutos y tallos jóvenes, pero no en hojas maduras en los géneros mencionados se contraponen con la visión de que el Boro se transporta por xilema a los sitios de mayor pérdida de agua (Shelp et al., 1995, citado por Sosa, 2000).

De las posibilidades estudiadas, una es a través de trabajo molecular y, la otra, creando fertilizantes que entreguen los micronutrientes en una forma que puedan ser transportados por el floema (Brown, 2007), que son preferentemente fertilizantes para aplicaciones foliares. Precisamente, al aplicar productos foliares que se basan en polioles se incrementa la penetración a través de la superficie de la hoja. Se piensa, asimismo, que en el caso del Boro, incrementa el transporte dentro de las plantas, incluso en las que no transportan Boro, según plantea Brown (2007).

7.1.2 Especies que no Contengan estos Polioles y Uso de Transgenia en la Inducción del Transporte del Boro dentro de la Planta

Estudios realizados por Brown (2007) demostraron que el uso de la transgenia ha potenciado genéticamente la capacidad de transporte de Boro, incorporando un gen de una especie móvil (manzano que produce polioles) a una especie que no los produce (como el tabaco). De esta manera se han podido determinar tres aspectos fundamentales:

- Que los azúcares alcoholes son importantes en los mecanismos fisiológicos en el transporte de algunos nutrientes como el Boro.
- Es factible la experiencia de modificar genéticamente una planta para inducir su transporte de nutrientes.
- Se demostró la importancia de la inmovilidad de nutrientes en las deficiencias.

A partir de estos trabajos, se están buscando enfoques similares para otros nutrientes como hierro, calcio y zinc. Hay grupos que han incorporado el mismo gen de la manzana a algodón y arroz. Y en ambos casos ha permitido manejar mejor esos cultivos y evitar las deficiencias de Boro. Ambos trabajos son recientes y su adopción en mayor escala dependerá de la sociedad para trabajar con cultivos genéticamente manipulados, plantea Brown (2007).



7.2 Uso de Dos Filosofías Respecto a la Prevención y el Tratamiento de la Deficiencia de Boro: ¿Uso de Aplicaciones al Suelo o Foliar?

Brown (2007) señala que hay un principio muy simple: mantenga un aporte constante de Boro durante los períodos de crecimiento del cultivo y de los frutos. Si esto se puede lograr a través de aplicaciones al suelo, está muy bien. Sin embargo, en estos casos los fertilizantes se ven afectados por la falta de humedad del suelo, o la falta de extracción durante algunas etapas de la actividad de la planta que no coinciden con la etapa de extracción (etapas tempranas de crecimiento en frutales de hoja caduca o en el llenado de granos en cereales). Es por esta razón que se utiliza Boro foliar en frutales de nuez, en los que la floración comúnmente es anterior a un período de alta extracción de nutrientes desde el suelo.

7.2.1 Recomendaciones: Aplicaciones de Boro al Suelo

Las aplicaciones de Boro al suelo son más eficientes en bandas que al voleo. En bandas se produce una mayor absorción de Boro por las plantas. Por ejemplo 1,12 kg B/ha en bandas son más eficaces que 2,24 kg B/ha al voleo, según Gupta (1978), citado por Bonilla (1994).

La dosis óptima de Boro aplicada al suelo depende de la especie, de las prácticas de los cultivos, de las lluvias, del encalado y de la materia orgánica del terreno. Las dosis están igualmente limitadas por el margen estrecho que existe entre la deficiencia y la toxicidad. Por ello, es necesario tener en cuenta tanto las exigencias de las especies como en relación con la deficiencia y sus sensibilidades en relación a la toxicidad. La dosis aplicada varía de 0,3 a 3 kg B/ha (0,3 kg/ha para los cultivos sensibles a los excesos como el frejol y hasta 3 kg B/ha para los cultivos tolerantes y exigentes como la alfalfa, colinabo y remolacha). Ver Capítulo 4. La mayor parte de los resultados experimentales demostraron que una dosis entre 1,2 y 3,2 kg B/ha es necesaria en tratamientos al suelo para las leguminosas y ciertas plantas-raíces, y que una dosis de 0,6 a 1,2 kg B/ha es suficiente para los otros cultivos.

A continuación, en el cuadro 28 se presenta una lista de cultivos y dosis de Boro recomendadas por Shorrocks (1982), citado por Bonilla et al., 1994.

Cuadro 28. Dosis de Boro recomendadas para el suelo en diversos cultivos (Fuente: Sorrocks, 1982, citado por Bonilla et al., 1994).

Cultivo	Boro (kg/ha)	Cultivo	Boro (kg/ha)
Cacao	3,0 - 6,0	Plátano	1,0 - 3,0
Café	1,5 - 3,0	Frambueso	1,0 - 4,0
Té	1,0 - 1,5	Ciruelo	1,0 - 3,0
Maíz	0,5 - 1,5	Fresal	0,5 - 1,0
Arroz	0,5 - 1,0	Nagal	2,0 - 6,0
Caña de azúcar	0,5 - 2,0	Cocotero	0,5 - 1,0
Trigo	0,5 - 2,0	Maní	0,3 - 0,5
Cereales	0,5 - 2,0	Mostaza	0,5 - 1,0
Tabaco	0,3 - 1,0	Linaza	0,5 - 1,5
Algodón	0,5 - 2,0	Olivo	1,0 - 3,0
Clavel	1,0 - 2,0	Soya	0,5 - 1,0
Crisantemo	0,5 - 2,0	Girasol	1,0 - 3,0
Gladiolo	0,5 - 2,0	Zanahoria	1,0 - 2,0
Rosas	1,0 - 2,0	Papa	0,5 - 1,0
Flores (gral.)	0,5 - 2,0	Remolacha	1,0 - 3,0
Pastos (gral.)	0,5 - 1,0	Rabo	1,0 - 3,0
Almedro	3,0 - 6,0	Eucalipto	0,5 - 1,0
Manzano	1,0 - 2,0	Pino	1,0 - 5,0
Albaricoque	1,0 - 2,0	Espárrago	1,0 - 2,0
Banano	2,0 - 4,0	Repollo	1,0 - 2,0
Mora	1,0 - 2,0	Coliflor	1,0 - 2,0
Marañón	1,0 - 2,0	Apio	1,0 - 2,0
Cerezo	1,0 - 2,0	Ajo	1,0 - 2,0
Cítricos	1,0 - 2,0	Colinabo	0,5 - 1,0
Grosello	1,0 - 2,0	Lechuga	1,0 - 2,0
Higo	1,0 - 2,0	Cebolla	1,0 - 2,0
Vid	2,0 - 6,0	Rábano	1,0 - 2,0
Durazno	0,5 - 1,0	Espinaca	1,0 - 2,0
Peral	1,0 - 2,0	Tomate	1,0 - 1,5
Piña	1,0 - 2,0		



El ICA (1992) y Alarcón (2002), recomiendan para diversos cultivos las dosis, fuentes y métodos de aplicación que aparecen en el siguiente Cuadro 29.

Cuadro 29. Recomendación de Boro para diversos cultivos en suelos con deficiencia del elemento de acuerdo a su fuente (fuentes: Alarcón, 2002; ICA, 1992, citado por Bonilla et al, 1994).

Cultivo	Fuente	Dosis producto comercial (kg/ha)	Método de de aplicación	Referencias
Arroz	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	10	Localizado	ICA, 1992
Zanahoria	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	12	Localizado	ICA, 1992
Tomate	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	12	Localizado	ICA, 1992
Tomate	Qrop™ Boronat - 32 AG	10 - 15	Localizado	Alarcón, 2002
Pepino	Qrop™ Boronat - 32 AG	10 - 20	Localizado	Alarcón, 2002
Pimiento y chiles	Qrop™ Boronat - 32 AG	10 - 20	Localizado	Alarcón, 2002
Melón	Qrop™ Boronat - 32 AG	10 - 15	Localizado	Alarcón, 2002
Maíz	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	10	Localizado	ICA, 1992
Papa	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	12 a 15	Localizado	ICA, 1992
Papa (*)	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (20,5%B)	0,4 (*)	Foliar	ICA, 1992
Frutales de hoja caduca (**)	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	20-25 g/planta	Localizado	ICA, 1992
Cítricos	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	20-25 g/planta	Localizado	ICA, 1992
Cítricos	Qrop™ Boronat - 32 AG	150-300 g/árbol	Localizado	Alarcón, 2002
Aguacate (palto)	Qrop™ Boronat - 32 AG	100-300 g/árbol	Localizado	Alarcón, 2002
Clavel	Qrop™ Boronat - 32 AG	10 - 20	localizado	Alarcón, 2002
Rosas	Qrop™ Boronat - 32 AG	10 - 15	Localizado	Alarcón, 2002
Papayo	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	10 g/planta	Localizado	ICA, 1992
Papayo	Qrop™ Boronat - 32 AG	2,5 - 5	Localizado	Alarcón, 2002
Palma africana	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	50 g/planta	Localizado	ICA, 2002
Banano	NaB ₄ O ₇ 10 H ₂ O (11,5%B)	1	Localizado	ICA 2002

Nota: (*) Solución al 0,4% en 3 aplicaciones.

(**) Incluye pera, manzano, durazno y ciruelo.

Para fertirrigación, el producto **Ultrazol™ Micro Boro** es ideal para ser recomendado, las dosis consideradas serán según análisis de suelo y agua, de acuerdo a la respuesta de la planta (ver cuadro 14). De modo orientativo se sugieren las dosis en el siguiente cuadro 30.

Cuadro 30. Recomendación de **Ultrazol™ Micro Boro** en fertirriego para varios cultivos (fuente: Material Técnico **SQM** México).

Cultivo	Dosis para riego		Época de aplicación
	Diario	Intermitente	
Hortalizas y flores Tomate, chiles y pimientos. Zanahora, fresa, frambuesa y arándano.	80-120 g/ha/riego	0.51 kg/ha/semana	En etapas de floración y cuajado. Durante el período de floración.
Pepino, melón, sandía, calabacita, papa, cebolla, ajo.	30-80 g/ha/riego	0.20.5 Kg/ha/semana	En etapas de floración y cuajado. 1 aplicación en etapa de inicio de tuberación. 1 aplicación previo a inicio de bulbificación y repetir en llenado de bulbo.
Rosas, gerbera, clavel, crisantemos y gladiolos.	30-80 g/ha/riego	0.51 Kg/ha/semana	
Frutales Uva de mesa Cítricos Manzana- pera.		2.3 kg/ha/aplicación 2.3 kg/ha/aplicación 4.5 kg/ha/aplicación	Realizar aplicaciones en etapas de cuajado sobre todo en variedades. Realizar 3 aplicaciones. al inicio de brotación, previo a floración y en fruta cuajada. Aplicar entre apertura de yema e inicio formación de botón. Repetir con frutos de 20 mm. Una tercera aplicación se puede realizar en postcosechas 30 días antes de caída de hojas.
Durazno Papaya		2.3 kg/ha/aplicación 2.3 kg/ha/aplicación	Aplicar brotes de 10 cms. y repetir a los 15 días. Previo a la floración y mientras dure este período. Aumentar dosis si se observa escurrimiento de látex o fruta deforme.
Aguacate, mango.		0.5-1 kg/ha/aplicación	Realizar 2 aplicaciones en época de floración.

Cuadro 31. Recomendaciones del producto Granubor en cultivos (Fuente: Web site: www.borax.com/agriculture/).

Cultivo	kg B/ha	Observaciones
Alfalfa	2 - 3	Tener en cuenta la etapa de desarrollo de las plantas cuando se tiene el tejido de muestreo. La deficiencia de boro en las plantas de alfalfa, debajo de las hojas jóvenes tienen un color de rosa de color rojo, mientras que los lados son de color amarillo. Cuando existe una deficiencia severa de boro las hojas jóvenes se volverán marrón y la planta morirá.
Algodón	1	Una aplicación en suelo antes de incorporarse la plantación.
Pasto Bermuda	1 - 2	Solo a través de productos granulares. Puede ser aplicado mezclado con NPK fertilizantes, en el principio de la primavera.
	1	Solo a través de productos granulares. En clima seco, durante la temporada de crecimiento. Algo de Boro puede ser incluido en el reabono nitrogenado después de algunas cosechas durante el crecimiento de temporada.
Maíz	1	Incorporarse previamente a la plantación.
	0,5 1	Si es aplicado en bandas el fertilizante al momento de la plantación. El Boro también se puede aplicar en un reabono de fertilizante de nitrógeno a razón de 1 kg B/ha.
Maní	0,5	Aplicación al suelo, antes de incorporarse la plantación.
Manzana	2 - 3	Aplicación temprana durante la temporada.
Soya	1 0,5	Aplicación al suelo, antes de incorporarse la plantación. Si es aplicado en bandas al momento de la plantación.
Pistacho	2 - 4 Onzas(*)/árbol	Es necesario para incrementar el rendimiento.
Uva	1	Una aplicación en suelo.

Nota (*): 1 onza = 38,5g



7.2.2 Recomendaciones: Aplicaciones de Boro al Follaje

Las recomendaciones, a través de aplicaciones foliares, son especialmente indicadas para plantas perennes, arboricultura o viticultura, en que el Ácido Bórico es uno de los productos más utilizados.

Las aplicaciones foliares precoces permiten una mayor absorción de Boro que aquellas aplicadas tardíamente. En los cultivos anuales y semestrales, las pulverizaciones foliares se utilizan para corregir las deficiencias aparecidas al comienzo del crecimiento, y deben repetirse un cierto número de veces en el transcurso del desarrollo a causa de la baja movilidad del Boro en las plantas (Murphy y Walsh, 1972, citado por Bonilla, 1994).

Las aplicaciones foliares por aspersión, durante el año, dan como resultado niveles uniformes de Boro en las hojas y frutos, mientras que las que se hacen al suelo arrojan resultados de este elemento que son fluctuantes, debido a que el suelo se ve afectado por el clima y la disponibilidad de Boro (ver Capítulo 2).

Respecto a los momentos más indicados para su aplicación, se recomiendan las siguientes precauciones para las diferentes fuentes y tipos de productos boratados:

Para productos boratados en solución, preparar sólo antes de aplicar, de preferencia temprano en la mañana porque son productos volátiles. Y considerar las condiciones meteorológicas y el pronóstico del tiempo al momento de su preparación, especialmente en las aspersiones foliares.

7.2.2.1 ¿Qué es un Programa de Fertilización Foliar SQM con Speedfol™?

Speedfol™ es un programa de **Nutrición Vegetal de Especialidad** para aplicaciones foliares que consideran:

- Triple acción: prevención, corrección y bioestimulación foliar.
- **Speedfol™** cubre todos los esenciales nutrientes para aplicaciones con toda la gama de productos.
- **Speedfol™** contiene fórmulas para cada estado fenológico, meso y micronutrientes y bioestimulantes.
- **Speedfol™** es potenciado por el **Element Q**.
- **Speedfol™** es soportado por investigación sobre las diferentes variedades, folletos y etiquetas por cultivo y por producto.



Figura 90. Programas **Speedfol™** en palto (a), uva de mesa (b) y uva vinífera (c) los cuales entregan asesoría técnica y desarrollo en campo (d y e) (Fuentes: Palma, 2005; Raffo, 2004).

7.2.2.2 Recomendaciones de Uso de **Speedfol™ B SP** en los Cultivos

- **Speedfol™ B SP** es aplicado al follaje para mejorar la cuaja durante la floración y productividad de vegetales, frutales, semilleros, cereales y otros cultivos. Incrementa la calidad.
- **Speedfol™ B SP** es una formulación de poliborato cristalino de alta solubilidad en agua. El alto contenido de Boro, de 17%, en combinación con su sistema de penetración y solubilidad favorece una rápida absorción por parte de la planta evitando su lavado por lluvia (ver capítulos 6 y 9).
- **Speedfol™ B SP** es derivado del Ácido Bórico, por lo cual es la fuente más eficiente de absorción de Boro foliar (ver capítulo 2, sección 2.5.2).
- **Speedfol™ B SP** a través de su acidez de pH = 5 reduce el pH de aguas alcalinas. Ello hace que este producto sea idealmente propicio para aplicaciones con la mayoría de pesticidas agrícolas por su mayor estabilidad y efectividad (ver Capítulo 6, sección 6.3.1.4).
- **Speedfol™ B SP** no contiene sodio, cloruro, ni metales pesados, de tal manera que minimiza el riesgo de contaminación, quemadura y/o fototoxicidad.
- **Speedfol™ B SP** cumple con las normas establecidas por EPA, EUREPGAP y BPA para fertilizantes foliares.

Las recomendaciones expuestas en el siguiente cuadro 27, son de orden general. Pueden variar por diversos factores, condiciones, criterios y objetivos. Consulte a su asesor o distribuidor por su programa de cultivo específico o por cualquier otra información acerca del uso del rango de productos **Speedfol™ B SP**.



Speedfol™ B SP es un complemento a la fertilización del suelo, en ningún caso la sustituye. En consecuencia para resultados óptimos **Speedfol™ B SP** debería ser usado dentro de un programa basado en la combinación con otros productos de la línea **Speedfol™**, **Ultrasol™** y/o **Qrop™**.

Speedfol™ B SP debería preferentemente ser aplicado en el amanecer o atardecer. No aplicar a la planta cuando esté sometida a un período de humedad (rocío) o sufra estrés por altas temperaturas.

Cabe señalar que **Speedfol™ B SP** puede ser aplicado bajo la tecnología de ultra bajo volumen llamada aplicaciones electrostáticas, las cuales utilizan cantidades de agua por hectárea que van entre 60 y 100 l/ha. Se puede aplicar también con mayores volúmenes de agua a través de nebulizadores o atomizadores de alto volumen (mayor a 1.000 l/ha). Para la preparación de **Speedfol™ B SP** se debería tener en consideración las siguientes recomendaciones para máquinas electrostáticas:

Si se aplica 1 kg/ha de **Speedfol™ B SP** y el estanque de la máquina electrostática tiene 350 litros, entonces serviría la preparación para cubrir 5 ha (ya que el gasto es de 70 l/ha); de manera que los 5 kg/ha de **Speedfol™ B SP** se deben preparar considerando lo siguiente:

- Tomar 5 tarros de 20 litros c/u, y llenarlos con 10 litros de agua.
- Luego verter en cada tarro 1 kg de **Speedfol™ B SP**, y posteriormente rellenar completando con 10 litros de agua el tarro.
- Luego, verter estos 5 tarros de 20 litros c/u (con el producto diluido) hacia la máquina electrostática que está con 200 litros de agua. En consecuencia, tenemos 200 lts. de agua + 100 l provenientes de la solución previamente diluida, y quedaría por rellenar con 50 lts. de agua al final. Entonces se rellena con el enjuague de 10 lts. de agua de cada tarro en que se disolvió 1 kg de **Speedfol™ B SP**.
- Finalmente, tener en consideración **no aplicar más de dos máquinas o sea 700 litros de agua** (alcanza para aplicar en 10 ha), porque hay que parar las aplicaciones y proceder a lavar muy bien la máquina. En consecuencia, no aplicar más de 2 estancadas (esto es muy importante), las que deben lavarse inmediatamente para seguir aplicando si se tienen más hectáreas que cubrir.

Cuadro 32. Recomendación de Uso Foliar de **Speedfol™ B SP** en diferentes cultivos. Concentración máxima y dosis por aplicación (Fuente: Palma, 2004).

Cultivos	Conc. máxima g/100 l	Dosis kg/ha	Observaciones
Alfalfa	250	0,75	Una aplicación 10 días después del corte.
Manzana y peral	65	1	Aplicar en prefloración y precisamente antes apertura floral (2 aplicaciones) durante ramillete expuesto para estimular cuaja y la formación de semilla.
	130	2,6	Aplicar en postcosecha temprana y tardía sobre hojas fotosintéticamente activas para mejorar las reservas nutricionales para el próximo año.
Palto o aguacates	100	2	Aplicar en prefloración y cuando 10% de flores estén abiertas para mejorar la cuaja.
Brócoli y coliflor	100	0,5	Aplicar cubriendo todo el cultivo con la aspersión 1 a 3 semanas después de trasplante y tempranamente en el estado de formación floral.
Repollo	100	0,5	Aplicar cubriendo todo el cultivo con la aspersión 4 semanas después de trasplante y repetir cada 3 semanas según lo requerido.
Cerezo	130	2	Aplicar cuando 10% de las flores estén abiertas solo en los huertos con un historial de pobre cuaja, con deficiencia de boro y cuando el tratamiento de post cosecha no haya sido dado en el año anterior.
	100	2	Aplicar en la post cosecha temprana y tardía sobre las hojas fotosintéticamente activas para mejorar las reservas nutricionales para el próximo año.
Cítricos	65	2	Aplicar en estado de yema flor blanca para mejorar la cuaja. Repetir en Post cosecha si existen deficiencias.
Cafe	65	1	Aplicar en pre floración, post floración y post cosecha.
Mango	100	2	Aplicar con 50% de flores abiertas.
Espárragos	65 - 130	0,3 - 0,8	Aplicar desde tercer brote en adelante hasta período de agosto para estimular translocación de carbohidratos hacia la corona.
Algodón	100 - 200	0,5 - 1,0	Aplicar de manera que se cubra todo el cultivo entre el inicio del botón floral y primera flor. Segunda aplicación 2 semanas más tarde.
Cucurbitáceas (zapallo, sandía, melón, pepino, pimentón)	100 - 200	0,5 - 1,0	Aplicar cubriendo todo el cultivo con la aspersión. Aplicar precisamente antes de floración. Repetir según sea requerido.



Cuadro 32 (Continuación) (Fuente: Palma, 2004).

Cultivos	Conc. máxima g/100 l	Dosis kg/ha	Observaciones
Ajo	65-150	0,3 - 0,8	Aplicar una semana después de alcanzar el estado de pincel hasta 1 semana después de iniciación de bulbos.
Uva: mesa y vinífera	75- 150	1 - 2	Aplicar en pre floración solo sobre variedades con semillas y concordante con análisis de hoja. En caso de uva vinífera que presenten corredura del racimo, 2 aplicaciones pueden ser dadas, 7 días antes de prefloración y en prefloración.
	150	3	Aplicar en post cosecha sobre hojas fotosintéticamente activas para aumentar los niveles nutricionales y favorecer la cuaja de la próxima temporada.
Maní (cacahuete)	650	2	Aplicar antes de floración y repetir cada 3 semanas según lo requerido.
Maíz	60 - 200	0,3 - 1	Hacer una aplicación antes de floración.
Empastadas	200	0,6	Una aplicación 10 días antes de floración.
Raps	1300	2	Aplicar durante prefloración.
Cebolla	150	0,8	Aplicar una semana después del estado de pincel y una semana después de iniciación de bulbo.
Papa	150	0,75	Una aplicación durante la fase de emergencia de inflorescencia y llenado de tubérculo (10 a 14 días después de emergencia).
Carozo (ciruelo, duraznero nectarino y olivo)	130	2	Aplicar en estado de yema flor blanca sólo en huertos con un historial de pobre cuaja, con deficiencia de boro y cuando el tratamiento de post cosecha no haya sido dado el año anterior.
	130	2,6	Aplicar en la post cosecha temprana sobre hojas fotosintéticamente activas para mejorar las reservas nutricionales para el próximo año.
Frutales en formación	200	1	Aplicar durante los períodos de crecimiento.
Remolacha	750	2 a 3	Aplicar en el estado de 8 a 10 hojas y repetir según lo requerido.
Frutilla y frambuesa	100	1	Aplicar 7 días antes de flor y repetir según sea necesario.
Girasol (maravilla)	200	1	Aplicar cubriendo todo el cultivo con la aspersión durante el desarrollo foliar. Aplicar una segunda aspersión justo antes de floración.
Tomate y pimiento	100 - 200	0,5 - 1	Aplicar cubriendo todo el cultivo con la aspersión durante el desarrollo foliar. Aplicar una segunda aspersión justo antes de floración.
Trigo, Cebada	200 - 650	0,5 - 1	Una aplicación cubriendo todo el cultivo con la aspersión durante la emergencia de la inflorescencia y espiga hasta previa a la floración.

Si realiza aplicaciones con volúmenes de agua por debajo de lo normal (pulverizadores de ultra bajo volumen, como aplicaciones electrostáticas y aplicaciones aéreas), se recomienda basarse en la dosificación (l/ha). Las recomendaciones de este folleto son para huertos adultos, en base a aplicaciones con buena uniformidad/cobertura y acorde a los principios de buenas prácticas agrícolas (BPA).

Preparación de la aspersión:

Agite el envase del producto antes de usar. Llene el estanque hasta la mitad, haga una premezcla con la cantidad de **Speedfol™ B SP** necesaria, y agitando complete el volumen de agua necesario. **Speedfol™ B SP** puede aplicarse con cualquier equipo de pulverización terrestre o aérea.

Incompatibilidad y fitotoxicidad

Speedfol™ B SP es compatible con la mayoría de los productos fitosanitarios y fertilizantes de uso común. La suma total de volumen de productos en un tanque de mezclado nunca debería exceder 2% v/v. Esto no es más que 2 litros de varios productos en un tanque mezclador por 100 litros de agua. Esta regla no es utilizable en aplicaciones aéreas. Sin embargo, es altamente recomendable realizar una prueba de mezclado previamente con otros productos químicos. No se produce fototoxicidad bajo las aplicaciones de buenas prácticas agrícolas (BPA) y bajo recomendaciones de cultivos y dosis incluidas en esta etiqueta.

Equipamiento de protección personal

Siempre llevar puestos guantes y trajes protectores limpios para cubrir el cuerpo. También, siempre usar gafas de protección química, máscara de protección de toda la cara donde el contacto con salpicaduras o polvo es posible. Hay que mantener fuentes de agua para los ojos e instalaciones de duchas rápidas en el área de trabajo.

Restricciones de uso (carencia) o reingreso

No tiene restricción de uso, ni de reingreso.

Aplicaciones aéreas:

Speedfol™ B SP puede utilizarse vía aérea de acuerdo a las disposiciones que a nivel regional ha establecido la autoridad correspondiente.

Las aplicaciones aéreas deben respetar las dosis recomendadas en l/ha, pero usando la cantidad máxima posible de agua/ha.

Es recomendado no exceder la tasa de solubilidad máxima de 5% (50g de **Speedfol™ B SP** en 1 litro de agua a 20°C). Es recomendado no exceder una aplicación total de 3 l/ha de **Speedfol™ B SP** (cantidad total de nutrición foliar) por avión cuando la aspersión es con pesticidas. La formulación concentrada emulsificable puede ser problemática, ya que valores de alta conductividad eléctrica (CE) pueden afectar a la emulsión.

Precaución

Speedfol™ B SP no es tóxico. En el caso de usarse en combinación con productos fitosanitarios, es imprescindible tomar las medidas de protección necesarias de acuerdo a las exigencias de estos productos. No contamina aguas de regadío, ni cursos de agua. De acuerdo a las normas BPA para la aplicación de fertilizantes, se recomienda la asesoría de un experto.

Almacenaje

Almacenar en lugar ventilado, fresco y seco, en su envase original bien cerrado y bajo llave. Evite temperaturas extremas, menores a 5°C y sobre 40°C.

Manténgase fuera del alcance de niños y personas no responsables. No se almacene en el mismo lugar con herbicidas, comestibles, alimento para animales ni semillas.



7.2.2.3 Recomendaciones de Otras Fuentes de Boro en Aplicación Foliar:

Un ejemplo de recomendación de productos foliares usando las fuentes Ácido Bórico y mono etanol amina es el producto comercial conocido como Bortrac 150 SL y Bortrac PS, ambos productos formulados por la empresa **YaraVita™** (Ex- Phosyn).

Cuadro 33. Instrucciones de uso foliar del producto **Bortrac 150 SL** en cultivos (Yara Vita, Ex-Phosyn) (Fuente: Martínez y Valdivieso, 2008. Ficha técnica distribuidor en Chile).

Cultivo	Dosis l/ha	Aplicación
Manzanos	1 - 1,5	Realizar de 1 a 2 aplicaciones comenzando en ramillete expuesto y repetir a inicio de de floración.
Perales	2	Aplicar después de la cosecha, durante los 30 días que anteceden al inicio de la caída de hojas (2).
Almendros	1 - 1,5	En yema de invierno y yema blanca (Almendro 1 l/ha).
Cerezos	2	En post-cosecha, durante los 30 días que anteceden al inicio de la caída de hojas (2).
Ciruelos		
Durazneros		
Nectarinos		
Uva de Mesa	1 - 1,5	En variantes con semillas aplicar 20 días antes del inicio de la floración y, según sea necesario, repetir esta aplicación al inicio de la floración (1).
Uva vinífera		
Cereales	1	Aplicar entre 4 hojas e inicio de encañado (Etapa de Zadok 14 a 30)(1).
Cítricos	2 - 3	Aplicar a partir de botón blanco o cuando los botones están separados (2).
Maíz	2 - 3	Aplicar entre 4 a 8 hojas. Con deficiencias moderadas, se puede repetir la aplicación entre 10 a 14 días después (3).
Raps	3	Realizar una aplicación en el momento de extensión del tallo. Con deficiencias moderadas aplicar entre 4 a 6 hojas, pudiéndose repetir en desarrollo de tallo (3).
Canola		
Olivos	2 - 3	Aplicar en brotación y repetir en apertura del caliz si es necesario. En post-floración, realizar entre 1 - 2 aplicaciones con intervalos de 10 a 14 días. En post-cosecha, aplicar 2 - 3 l/ha (2).
Papas	1 - 2	Realizar 1 a 2 aplicaciones entre 7 a 14 días después que el 100% de las plantas hayan emergido hasta 20 días a partir de iniciación de formación del tubérculo (3).
Frutillas (en campo)	1 - 1,5	Realizar 2 aplicaciones comenzando en brotes verde / blanco y repitiendo 14 días después. En post-cosecha, aplicar 2 l/ha (1).
Tomates (en campo)	2	Aplicar entre 4 a 6 hojas. Repetir si es necesario 10 a 14 días después (1).

Nota: Volumen de agua mínimo: (1): 200 l/ha; (2): 500 l/ha; (3): 50 l/ha.

Por otro lado se adjunta en el siguiente cuadro instrucciones de uso del producto en formulación en polvo conocido como **Bortrac PS** (Cuadro 34).

Cuadro 34. Instrucciones de uso foliar del producto en polvo **Bortrac PS** (Fuentes: Afipa, 2003; Martínez y Valdivieso, 2008. Ficha técnica distribuidor en Chile).

Cultivo	kg/ha	Observaciones
Cítricos	2 - 3	Aplicar en botón blanco hasta inicio de floración (2).
Pomáceas (Manzano y Peral)	1 - 2	Aplicar 2 - 3 momentos, comenzando en ramilletes expuestos y repetir al inicio de floración.
	2 - 3	Aplicar después de la cosecha durante 30 días, que anteceden a la caída de las hojas (2).
Carozos (Almendro, Cerezo)	1 - 2	En yema de invierno y yema blanca.
Ciruelo, Duraznero y Nectarino)	2 - 3	En postcosecha, durante los 30 días que anteceden al inicio de la caída de las hojas (2).
Uva de mesa	1- 1,5	En variedades con semillas, aplicar 20 días antes del inicio de la floración.
Uva vinífera	2	Según sea necesario, repetir esta aplicación al inicio de la floración (1).
Paltos	1,5 - 2	Aplicar con la primera inflorescencia completamente expandida y repetir 20 días después (2).

Nota: Volumen de agua mínimo: (1): 200 l/ha; (2): 500 l/ha

Cuadro 35. Instrucciones de uso Foliar del producto **Solubor** (Fuente: web site: www.borax.com/agriculture).

Cultivo	Lb/acre(*)	Observaciones
Algodón	0,5	Múltiples aplicaciones foliares (0,1 kg de B/ha) semanal, de 3-5 veces después de la iniciación flores y durante el desarrollo de la bellota. Puede aplicarse solo o con insecticidas para plantas, o con soluciones de N al suelo.
Maíz	1,25	Una pulverización foliar de 1,25 kg de producto/ha antes de la floración. Puede ser aplicado solo o con insecticidas a la planta.
Frutales	1 - 3	Después de la cosecha mientras que las hojas permanezcan verdes.
	3 - 5	En períodos latentes con aceites insecticidas aplicados durante el estado tardío de dormancia del árbol.
Maní	1,25	Una o más pulverizaciones foliares antes de floración temprana, seguido en 2 - 4 semanas a esta temprana floración.
Manzano	2,5 - 5	Aplicación foliar, aplicada en ramillete blanco rosado y 7 - 10 días después de caída de pétalos y 25 a 30 días después de caída de pétalos. Aplicación de post-cosecha cuando las hojas permanecen aún verdes, también pueden dar un contenido de nutrientes al desarrollo de la yema para la próxima temporada.
Soya	0,5	Múltiples aplicaciones foliares por semana durante 3 - 5 veces antes de la iniciación de flores y desarrollo.
Uva	0,5	Múltiples aplicaciones foliares por semana durante 3 - 5 veces antes de la iniciación de flores y desarrollo Puede aplicarse sola o con insecticidas.

Nota: (*) 1lb/acre = 1,121 kg/ha.



8 Resultados de Investigaciones Demostrando el Uso de Boro dentro de un Balance Nutricional

Este Capítulo muestra una selección de investigaciones científicas que demuestran el efecto de los nutrientes y desbalances nutricionales sobre el rendimiento y calidad de los cultivos. Además, sobre la importancia de elegir apropiadamente productos nutricionales que contengan Boro en los cultivos de uva de mesa, aguacate o palta, banano, manzanos, perales y papa.

8.1 Uva de Mesa

- Aplicaciones al suelo permitieron comprobar que la localización de fertilizante soluble a base de borato sódico, durante tres años, fue la forma más efectiva de corregir la deficiencia severa de Boro en suelos bajos en este elemento, ya que se incrementó el contenido de Boro foliar en tejido de la planta. **Variedad Thompson seedless**, EE.UU. (Figura 91).

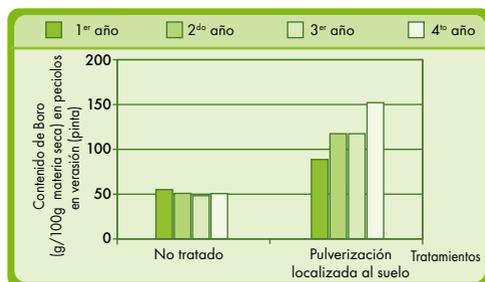


Figura 91. Efecto de aplicaciones de Boro al suelo sobre el contenido de Boro foliar después de 4 años de tratamientos aplicados en uva de mesa (Fuente: Christensen, 1986; citado por Yara en Plantmaster de uva de mesa Yara, 2003).

- Aplicaciones foliares de Ácido Bórico al 0,2 % incrementan el porcentaje de jugo. Variedad Thompson seedless, India. (Figura 92).

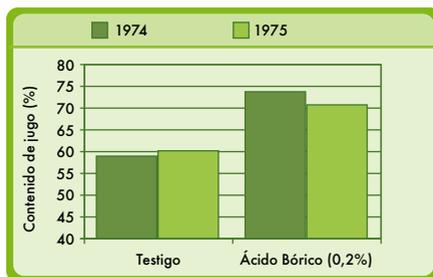


Figura 92. Efecto de aplicaciones foliares de Boro sobre el contenido de jugo de uva de mesa (Fuentes: Kumar y Bushan, 1977; citado por Yara en Plantmaster de uva de mesa, 2003).

- Aplicaciones foliares de Ácido Bórico al 0,1 y 0,2% ayuda a la calidad de la uva al aumentar el contenido en sólidos solubles totales (sst) en la fruta, reduciendo además la acidez. Variedad Thompson seedless, Egipto e India (Figuras 93 a y b).

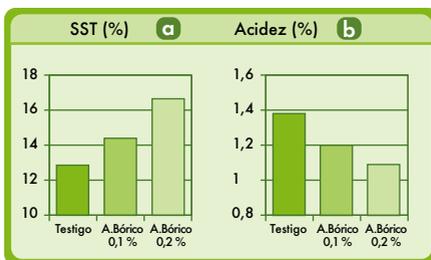


Figura 93. Efecto de aplicaciones foliares de Boro sobre el contenido de sólidos solubles totales (a) y acidez (b) en uva de mesa (Fuentes: Haggan, 1987; Ravel y Leela, 1975; citado por Yara en Plantmaster de uva de mesa, 2003).



8.2 Aguacate o Palto

- Aplicaciones de Boro en suelos deficientes incrementan el tamaño del fruto, dándose una directa correlación. **Variedad Hass** en EE.UU. (Figura 94).



Figura 94. Efecto de aplicaciones al suelo deficiente en Boro incrementan el tamaño del fruto en aguacate (Fuentes: Smith et al., 1995; citado por Yara, 2003 y Fichet, 2007).

- Aplicaciones de Boro y su efecto dependerán de la eficiencia en su absorción, la cual depende a su vez del tipo de patrones en los que se aplique. Así tenemos que la absorción de Boro es más alta en los de tipo Guatemaltecos (Edranol, Nabal, Velvick) que aquellos del tipo Mexicana (Duke 7, Topa Topa, Mexicola). Figuras 95 y 96.

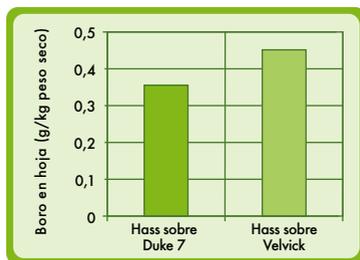


Figura 95. Diferencial de absorción de Boro dependiendo del patrón en aguacate (Fuente: Whiley et al., 1996; Marques, 2000; de Whiley et al., 2001; citado por Yara, 2003).

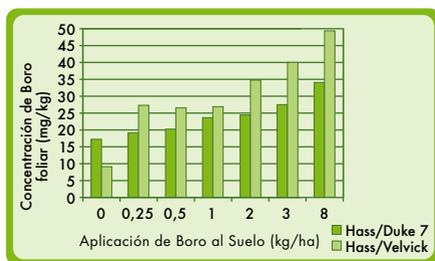


Figura 96. Diferencial de absorción de Boro dependiendo del patrón en aguacate (Fuente: Whiley et al., 1996; Marques, 2000, de Whiley et al., 2001; citado por Yara, 2003).

8.3 Banano

- Aplicaciones de Boro incrementan el rendimiento en banano (Figura 97).

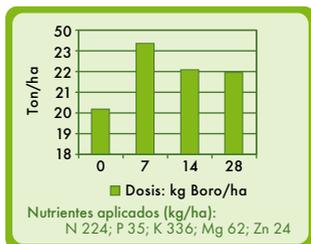


Figura 97. Efecto de aplicación de Boro sobre el rendimiento de banano (Fuente: Plantmaster de Banano de Yara, 2005).

8.4 Manzano

- Concentración total de Boro y su eficiencia en la absorción en los diferentes órganos de varios patrones crecidos en solución nutritiva con bajo nivel de Boro. Polonia (Figura 98).

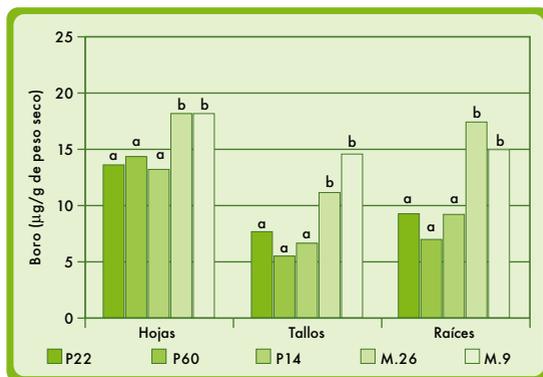


Figura 98. Diferencial de absorción de Boro dependiendo del patrón en manzanos (Fuentes: Wojcik et al., 2003; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara). Nota: Ensayos de patrones en invernaderos, crecidos por 180 días en una solución de bajo nivel de Boro ($5\mu\text{mol B/l}$). Polonia.



- Absorción y translocación de Boro en varios patrones crecidos en solución nutritiva con bajo nivel de Boro, mostrando con ello la tasa preferencial según el patrón. Polonia. (Figura 99).

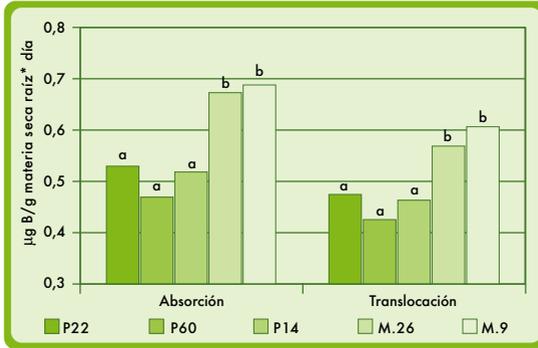
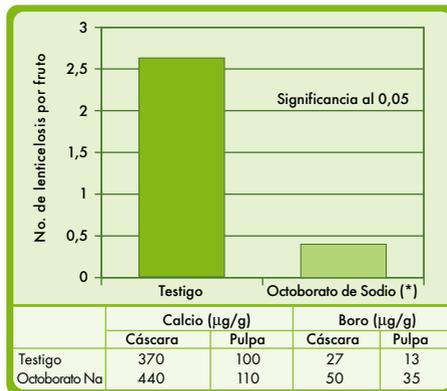


Figura 99. Absorción y translocación de Boro hacia los diferentes órganos de patrones de manzanos (Fuentes: Wojcik et al., 2003; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara). **Nota:** Ensayos de patrones en invernaderos, crecidos por 180 días en una solución de bajo nivel de Boro ($5\mu\text{mol B/l}$). Polonia.

- Efecto de aplicaciones foliares sobre la disminución en la incidencia del desorden nutricional "cork spots" o lenticelosis y concentración de Boro y calcio en manzanos **variedad Yorking**. EE.UU. (Figura 100 y Cuadro 36).



Nota: (*) USA, 4 aplicaciones de Octoborato de Sodio (3,7 Kg B/ha).

Figura 100 y Cuadro 36. Efecto de aplicación foliar de Boro sobre la disminución en la incidencia del desorden nutricional "cork spot" o lenticelosis en manzanos (Fuentes: Greene and Smith, 1979, citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Aplicaciones foliares de Boro, después de floración, reducen la incidencia de desordenes fisiológicos y pudrición en manzanos **variedad Sampion** en almacenamiento durante tres temporadas (1994-1996). Polonia (Figura 101).
 - Ácido bórico aplicado al suelo en dosis de 2,0 kg B/ha.
 - Aplicación foliar de Boro antes de floración, al 0,4% de solución de Ácido Bórico en 1.000 litros de agua: 0,67 kg B/ha al momento de yema verde a botón rosado y al comienzo de floración.
 - Aplicación foliar de Boro después de floración, al 0,4 % de solución de Ácido Bórico en 1.000 litros de agua: 0,67 kg B/ha al momento de caída de pétalos y 2 aplicaciones posteriores con intervalos semanales.

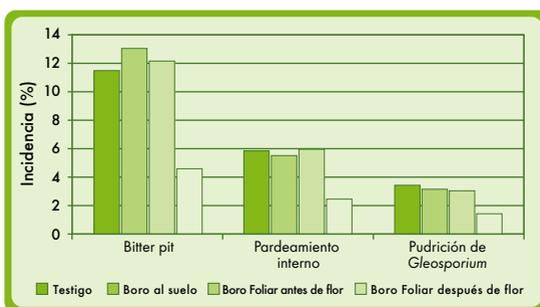


Figura 101. Absorción y translocación de Boro hacia los diferentes órganos de patrones de manzanos (Fuente: Wojcik et al., 1999; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto de la aplicación foliar de Boro sobre la disminución del desorden nutricional “Bitter pit” en dos variedades de manzanas, **variedades Red Chief y Nero Red Rome** al momento de cosecha y durante postcosecha. Italia (Figura 102).

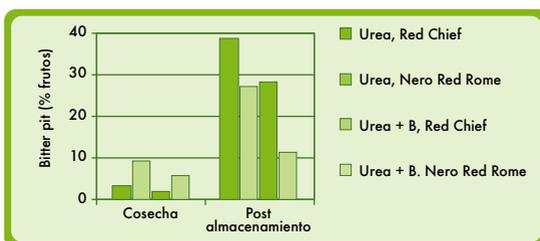


Figura 102. Efecto de la aplicación foliar de Boro y su incidencia en la disminución de Bitter pit en dos variedades de manzanos. Urea aplicada a 100 kg/ha; Boro como B_2O_3 a 34kg B_2O_3 /ha, cultivares sobre patrón M. 106. Contenido de Ca foliar en árboles provista con Boro fue el más alto que en los aplicados en árboles con solo nitrógeno (Fuente: Granelli and Ughini, 1989; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).



- Efecto de aplicaciones foliares de Boro para disminuir la prematura caída de fruta e incrementar los sólidos solubles en manzanos, **variedad Red Delicious**. India (Figura 103).

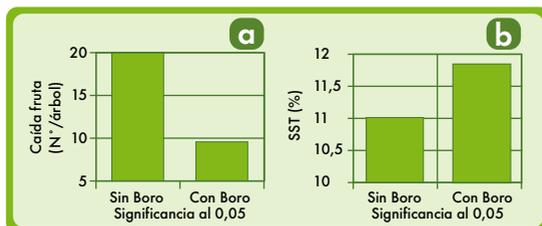


Figura 103. Porcentaje de prematura caída de fruta (a) y contenido de sólidos solubles (SST) en manzanos (b). En suelo deficiente de Boro se aplicó 0,1% de Ácido Bórico. Registro de caída prematura de fruta durante Junio y sólidos solubles (SST) durante la maduración (Fuente: Mondal, 2002; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto de aplicaciones de diferentes programas de Boro sobre la concentración de Boro en la hoja en manzanos, **variedad Fuji** (promedio de tres temporadas, 1996 a 1998). EE.UU. Figura 104.



Figura 104. Efecto de aplicaciones de diferentes programas de Boro sobre la concentración de Boro en la hoja en manzanos. Nota: EE.UU. todos los tratamientos aplicados en dosis de 0,56 Kg B/ha (1996-1998) y 1,12 Kg B/ha (1999) al momento de botón rosado (Fuente: Peryea, 2002; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto sobre aplicaciones foliares de Boro en el incremento de la concentración de Boro en la hoja después de tres momentos de aplicación (mayo, junio y septiembre) en manzano, **variedad Golden Delicious**, Irán. Además se compara con el modelo promedio encontrado en la concentración de Boro foliar sobre varios huertos de la localidad del Sur de Tyrol (Figura 105).

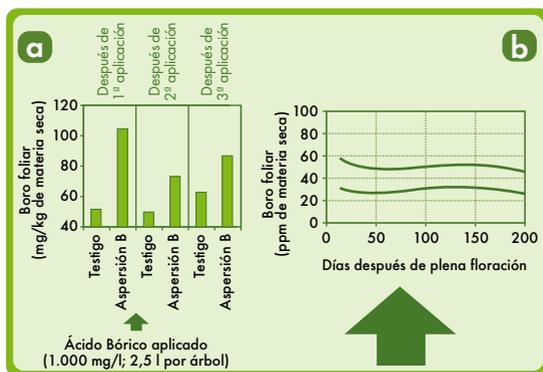


Figura 105. Efecto de aplicación foliar de Boro sobre el incremento en la concentración de Boro en la hoja después de tres momentos de aplicación en manzanos (figura de la izquierda (a)) y el modelo promedio encontrado en la concentración de Boro foliar sobre varios huertos de la localidad del Sur de Tyrol en manzanos (figura de la derecha (b)). Sur de Tyrol, 1995 - 1999, muestras tomadas de diferentes cultivares en huertos comerciales; valores referenciales de concentración de Boro en hoja (materia seca) para julio en Sur de Tyrol: mínimo = 30; máximo = 50 ppm (Fuente: Aichner and Stimpfl, 2002; Naseri et al., 2002; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto de aplicaciones de diferentes programas de Boro sobre la concentración de Boro en el racimo floral en manzanos, **variedad Fuji** (promedio de tres temporadas, 1996 a 1998). EE.UU. Figura 106.

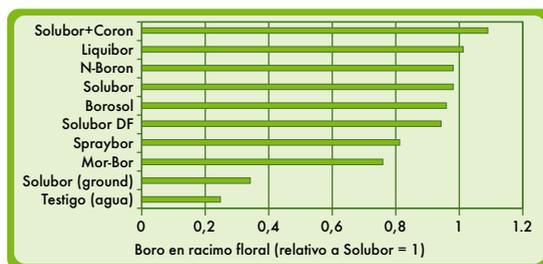


Figura 106. Efecto de aplicaciones de diferentes programas de Boro sobre la concentración de Boro en el racimo floral en manzanos. Nota: todos los tratamientos aplicados fueron con uso de 0,56 kg B/ha (1996 - 98) y 1,12 kg Boro/ha (1999) al momento de cosecha (Fuente: Peryea, 2002, citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).



- Efecto de la fertirrigación con Octoborato de Boro ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 20 % Boro) sobre el incremento de la concentración de Boro en las hojas y frutos. EE.UU. (Figura 107).

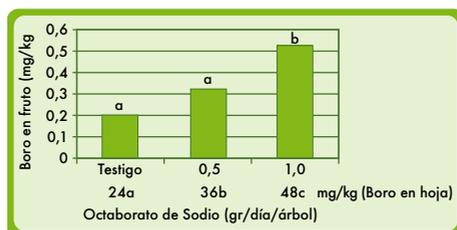


Figura 107. Efecto de aplicaciones de Octoborato de Sodio a través de la fertirrigación sobre el contenido de Boro en la fruta de manzanos. Ensayos de fertirrigación con Octoborato de Sodio a intervalos de 2 semanas desde mediados de mayo a finales de junio. Niveles de calcio y potasio en frutos no fueron afectados. Significancia al 0,05 (Fuente: Deyton et al., 2002; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto de la aplicación de diferentes tratamientos sobre la concentración de Boro en hojas y frutos en manzanos, **variedad Gala** (valores promedio de temporadas 1997 - 1999). EE.UU. y Canadá. (Figura 108).
 - 2.07 g de CaCl_2 /árbol con y sin mezcla en el tanque de Octoborato de Sodio, 20 % Boro (0,127 g B/árbol); comenzando tardíamente en mayo con 4 aplicaciones semanales. Aspersiones con Boro no comprometen el nivel de calcio.
 - Concentración de sodio en hojas y frutos se incrementa después de aplicaciones de Octoborato de Sodio, pero fue más bajo para provocar algún nivel de toxicidad.

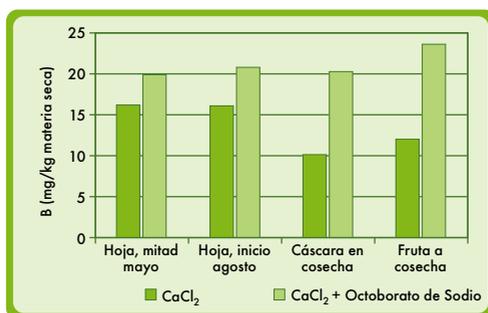


Figura 108. El efecto de la aplicación de Boro incrementa el contenido de Boro en las hojas y frutos en manzanos (Fuente: Peryea et al., 2003; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Las aplicaciones foliares de Boro después de floración incrementan la concentración de Boro y calcio en tejidos de manzanos, **variedad Sampion** sobre patrón M 26 durante la cosecha en tres temporadas (1994 a 1996). Se comprobó con ello la mayor eficiencia de aplicaciones foliares de Boro después de flor sobre las edáficas. Polonia (Cuadro 37).
 - Ácido bórico aplicado al suelo en dosis de 2.0 kg B/ha.
 - Aplicación foliar de Boro antes de floración, al 0,4% de solución de Ácido Bórico en 1.000 l de agua: 0,67 kg B/ha al momento de yema verde a botón rosado y al comienzo de floración.
 - Aplicación foliar de Boro después de floración, al 0,4 % de solución de Ácido Bórico en 1.000 l de agua: 0,67 kg B/ha al momento de caída de pétalos y 2 aplicaciones posteriores con intervalos semanales.

Cuadro 37. Concentración de Boro y calcio al momento de cosecha durante tres temporadas, por efectos de tratamientos foliares de Boro después de floración en manzanos (Fuente: Wojcik, 1999, citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

Tratamientos	Concentración de Boro (µg/g materia seca pulpa)			Concentración de calcio (µg/g materia seca pulpa)		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Testigo	18,1 a	15,2 a	15,3 a	108,3 a	83,3 a	109,0 a
Boro al suelo	17,5 a	29,7 c	29,4 c	110,7 a	85,7 a	106,3 a
Boro foliar antes de floración	2,7 b	21,7 b	24,3 b	108,0 a	86,3 a	105,0 a
Boro foliar después de floración	32,3 c	21,5 c	30,9 c	131,3 b	101,7	127,0 b



- Aplicaciones foliares de Boro después de floración incrementan la absorción de calcio en manzanos, **variedad Elstar**, en relación a otras estrategias de fertilización. Durante temporadas 1995-1996. Polonia (Cuadro 38).
 - Suelo con bajo nivel de Boro y bajo pH.
 - Tres aplicaciones foliares al 0,67 kg B/ha cada una al momento de yema verde, botón rosado y al comienzo de floración (total de 2 kg B/ha).
 - Tres aplicaciones al 0,67 kg B/ha al momento de caída de pétalos y 2 aplicaciones posteriores con intervalos semanales (total 2 kg B/ha).
 - Suelo aplicado con 2 kg B/ha.

Cuadro 38. Efecto de la aplicación foliar de Boro después de floración incrementa la absorción de calcio en manzanos (Fuente: Wojcik and Cieslinski, 2000, citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara; Bull, 2005 en Plantmaster de Pomáceas producido por Yara).

Tratamientos	Concentración Boro (mg/kg m.seca)			Concentración Ca (mg/kg m.seca)			Concentración K (% m.seca)		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Testigo	14,7a	14,6a	14,0a	126a	110a	126a	0,97b	1,21b	0,87bc
Boro al suelo	15,8a	32,8c	34,0c	130a	135b	152b	0,94b	1,17b	0,93c
Boro foliar antes de floración	20,8b	22,7b	25,2b	131a	109a	126a	1,00b	1,00b	0,88bc
Boro foliar después de floración	43,9c	34,3c	34,4c	164b	142b	147b	0,79a	1,06a	0,74a

- Aplicaciones foliares de Boro después de floración incrementan la firmeza de la fruta durante la postcosecha en manzanos, **variedad Sampion** sobre patrón M 26 en tres temporadas de seguimiento del ensayo (valor promedio entre 1994 a 1996). Se comprobó con ello la mayor eficiencia de aplicaciones foliares de Boro después de flor sobre las edáficas. Polonia (Figura 109).
 - Ácido bórico aplicado al suelo en dosis de 2,0 kg B/ha
 - Aplicación foliar de Boro antes de floración, al 0,4% de solución de Ácido Bórico en 1.000 l de agua: 0,67 kg B/ha al momento de yema verde a botón rosado y al comienzo de floración.
 - Aplicación foliar de Boro después de floración, al 0,4 % de solución de Ácido Bórico en 1.000 l de agua: 0,67 kg B/ha al momento de caída de pétalos y 2 aplicaciones posteriores con intervalos semanales.

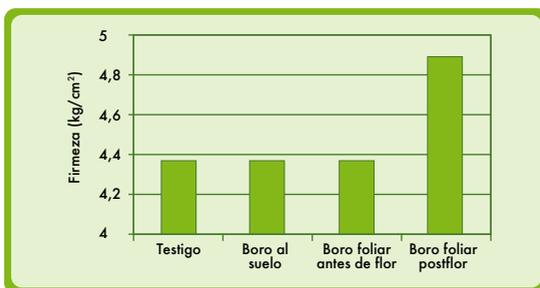


Figura 109. Efecto del Boro y sus diferentes momentos de aplicación y manera sobre la firmeza de la fruta en manzanos (Fuente: Wojcik et al., 1999 citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).



- Aplicaciones foliares de Boro después de floración incrementan la cuaja de la fruta en manzanos, **variedad Elstar**, en relación a otras estrategias de fertilización. Durante temporadas 1995 - 1996. Polonia. (figura 110).
 - Suelo con bajo nivel de Boro y bajo pH.
 - Tres aplicaciones foliares al 0,67 kg B/ha cada una al momento de yema verde, botón rosado y al comienzo de floración (total de 2 kg B/ha).
 - Tres aplicaciones al 0,67 kg B/ha al momento de caída de pétalos y 2 aplicaciones posteriores con intervalos semanales (total 2 kg B/ha).
 - Suelo aplicado con 2 kg B/ha.

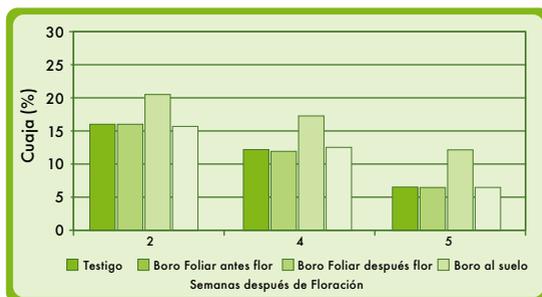


Figura 110. Efecto de la aplicación foliar de Boro después de floración, incrementa la cuaja en manzanos (Fuentes: Wojcik and Cieslinski, 2000; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Aplicaciones foliares de Boro después de floración incrementan el rendimiento de la fruta en manzanos, **variedad Sampion**, en relación a otras estrategias de fertilización. Durante temporadas 1995 - 1996. Polonia (Figura 111).
 - Suelo con bajo nivel de Boro y bajo pH.
 - Tres aplicaciones foliares al 0,67 kg B/ha cada una al momento de yema verde, botón rosado y al comienzo de floración (total de 2 kg B/ha).
 - Tres aplicaciones al 0,67 kg B/ha al momento de caída de pétalos y 2 aplicaciones posteriores con intervalos semanales (total 2 kg B/ha).
 - Suelo aplicado con 2 kg B/ha.

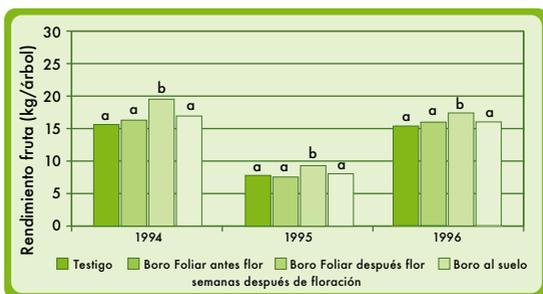


Figura 111. Efecto de la aplicación foliar de Boro después de floración incrementa el rendimiento en manzanos (Fuente: Wojcik and Cieslinski, 2000; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto de aplicación de Boro incrementa el rendimiento (kg/árbol) en manzanos, **variedad Anna** durante temporada 1988. Egipto. (Figura 112).

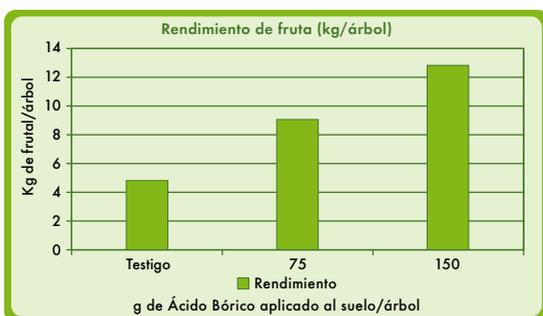


Figura 112. Efecto de la aplicación de Boro incrementa el rendimiento en manzanos (Fuentes: Kilany y Kilany, 1991, citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara; Bull, 2005 en Plantmaster de Pomáceas producido por Yara).



- Aplicaciones foliares de Boro después de floración disminuyen el pardeamiento interno en manzanos, **variedad Sampion**, en relación a otras estrategias de fertilización. Durante temporadas 1995-1996. Polonia (Figura 113).
 - Suelo con bajo nivel de Boro y bajo pH.
 - Tres aplicaciones foliares al 0,67 kg B/ha cada una al momento de yema verde, botón rosado y al comienzo de floración (total de 2 kg B/ha).
 - Tres aplicaciones al 0,67 kg B/ha al momento de caída de pétalos y 2 aplicaciones posteriores con intervalos semanales (total 2 kg B/ha).
 - Suelo aplicado con 2 kg B/ha.

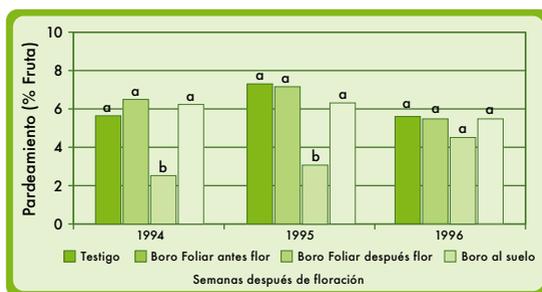


Figura 113. Efecto de la aplicación foliar de Boro después de floración disminuye el pardeamiento interno en manzanos (Fuente: Wojcik and Cieslinski, 2000; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto de aplicaciones foliares de Boro sobre la disminución de la incidencia de partidura de piel en manzanos, **variedad Elstar**, sobre patrón M.26. Alemania (Figura 114).

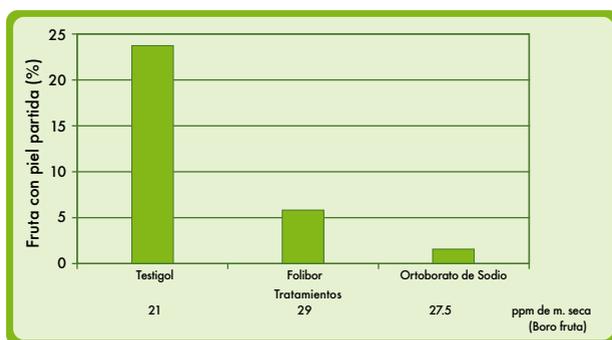


Figura 114. Efecto de la aplicación foliar de Boro después de floración: disminuye la incidencia de partidura de piel en manzanos. Nota: 300 ppm Boro fueron aplicados 4 semanas después de caída de pétalos. No hubo influencia sobre el K, Ca y Mg en fruta (Fuente: Zude et al., 1997; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

8.5 Peral

- El efecto de la aplicación foliar de Boro reduce la permeabilidad del tejido durante almacenamiento en Atmósfera Controlada. En consecuencia, mejora la calidad y condición de postcosecha de la fruta en perales **variedad Conference**. Alemania (Figura 115).
 - Patrón Membrillo A.
 - Almacenaje en Atmósfera Controlada al 5% CO₂, 2% O₂, temperatura es de 0,5°C.
 - Seis aplicaciones foliares con intervalos de 10 días a partir de 8 semanas antes de cosecha (0,25 kg B/ha).
 - La permeabilidad de la membrana fue determinada por medición del aumento en conductividad de una solución de 0,4 Manitol en la cual los discos a partir de tejido de fruto inerte fueron incubados.

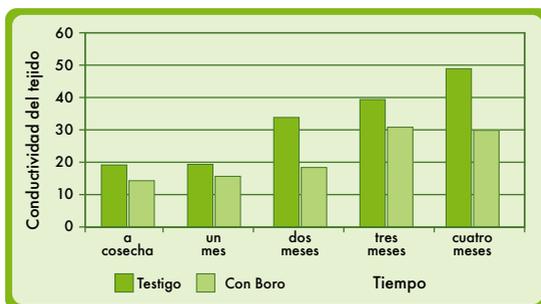


Figura 115 Efecto de la aplicación foliar de Boro sobre la permeabilidad del tejido en almacenamiento en Atmósfera Controlada en peral (Fuente: Xuan et al., 2002; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).



- El efecto de la aplicación foliar de Boro incrementa el contenido de Vitamina C al momento de cosecha y durante almacenamiento en atmósfera controlada, en perales **variedad Conference**. Alemania (Figura 116).
 - Patrón membrillo A.
 - Almacenaje en atmósfera controlada al 5% CO₂, 2% O₂, temperatura es de 0,5°C.
 - Seis aplicaciones foliares con intervalos de 10 días a partir de 8 semanas antes de cosecha (0,25 kg B/ha).

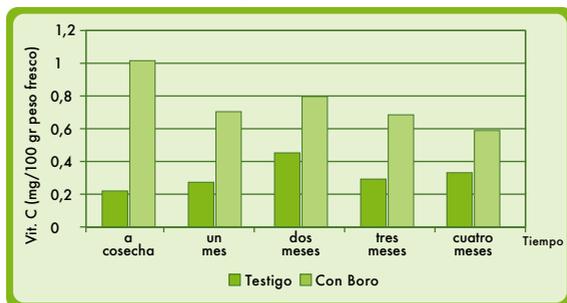


Figura 116. Efecto de la aplicación foliar de Boro sobre el contenido de Vitamina C al momento de cosecha y durante almacenamiento en Atmósfera Controlada en peral (Fuente: Xuan et al., 2002; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara).

- Efecto de la aplicación foliar de Boro reduce la incidencia de desórdenes fisiológicos durante almacenamiento en atmósfera controlada en perales **variedad Conference**. Alemania (Figura 117).
 - Patrón Membrillo A.
 - Almacenaje en Atmósfera Controlada al 5% CO₂, 2% O₂, temperatura es de 0,5°C.
 - Seis aplicaciones foliares con intervalos de 10 días a partir de 8 semanas antes de cosecha (0,25 kg B/ha).
 - Significancia en cada mes al 0,05.



Figura 117. Efecto de la aplicación foliar de Boro sobre la incidencia de desórdenes fisiológicos al momento de cosecha y durante almacenamiento en atmósfera controlada en peral (Fuentes: Xuan et al., 2002; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara; Bull, 2005 en Plantmaster de Pomáceas producido por Yara).

- Efecto de la aplicación foliar de Boro incrementa el porcentaje de cuaja de la fruta en perales, **variedad Conference**. Polonia (Figura 118).
 - Suelo con bajo nivel de Boro.
 - Tres tratamientos con aplicaciones foliares al 0,2 kg B/ha durante primavera y una aplicación foliar al 0,8 kg B/ha en caída de postcosecha.
 - Aplicación al suelo de B de 2 kg B/ha.
 - Significancia al 0,05.



Figura 118. Efecto sobre la cuaja con diferentes estrategias de fertilización con Boro en peral Variedad Conference. Nota: suelo con nivel bajo en Boro (Fuente: Wojcik and Wojcik, 2003; citado por Kuesters, 2004. Material técnico interno de Yara; Bull, 2005 en Plantmaster de Pomáceas producido por Yara).



8.6 Papa

- Los efectos de la aplicación de Boro son estabilizar el calcio en la pared celular y reducir la decoloración enzimática en el tubérculo de papa, porque disminuye la oxidación de los fenoles. EEUU. (Figura 119).

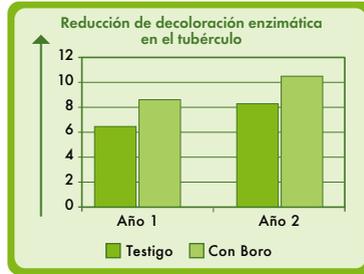


Figura 119. Efecto del Boro sobre la reducción en la decoloración enzimática en el tubérculo de papa (Fuente: Mondy y Munshi, 1993; citado por Yara, 2005).

- Efecto de la aplicación de Boro reduce la necrosis apical de los brotes Holanda. (Figura 120).

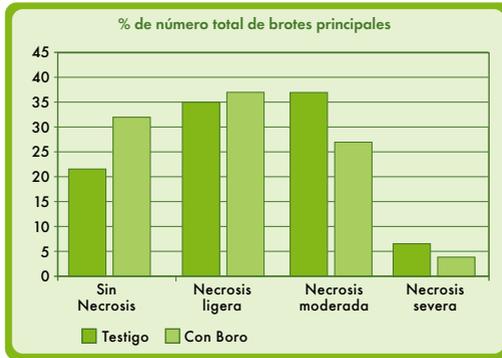


Figura 120. Efecto del Boro sobre la reducción de la necrosis apical de los brotes (Fuente: Hilbrands laboratory, 1997; citado por Yara, 2005).

9 Efectividad del Uso de Speedfol™ B SP, Speedfol™ Color SP y Qrop™ Boronat - 32 AG en Programas Nutricionales Balanceados

Este Capítulo resume los resultados benéficos, ya sea técnicos o económicos, de ensayos demostrativos **SQM** en el mundo al utilizar **Speedfol™ B SP**, **Speedfol™ Color SP** y **Qrop™ Boronat - 32 AG**.

En consecuencia se detallarán los siguientes ensayos llevados a cabo en diferentes lugares, universidades y centros de investigación:

- 9.1 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre el **Rendimiento de Raps** (*Brassica napus*).
- 9.2 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre la **Rentabilidad en Raps** (*Brassica napus*).
- 9.3 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre la **Absorción de B** en la Hoja de Mani (*Arachis hypogaea* L).
- 9.4 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre la **Recuperación del Nivel de B Foliar** (en relación a otras 4 diferentes Fuentes de Competidores presentes en el Mercado Mundial) de Raps (*Brassica napus*).
- 9.5 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre la **Incidencia de Bitter pit** en la Fruta sobre Manzanos cv. Braeburn (*Malus pumila*).
- 9.6 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre la **Absorción Foliar** de Elementos tales como Boro y Calcio sobre Manzanos cv. Braeburn (*Malus pumila*).
- 9.7 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre el **Incremento de la Absorción de B** en la Hoja sobre Algodón (*Gossypium* spp.) bajo un Sistema de Riego en Pivote.
- 9.8 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ B SP** sobre el **Incremento de la Absorción de B** en la Hoja sobre Algodón (*Gossypium* spp.) bajo un Sistema de Secano, sin Irrigación.
- 9.9 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ Color SP** sobre las **Categorías de Color** sobre Manzanos cv. Gala (*Malus pumila*).
- 9.10 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ Color SP** sobre la **Incidencia de Bitter pit** en la Fruta sobre Manzanos cv. Gala (*Malus pumila*).

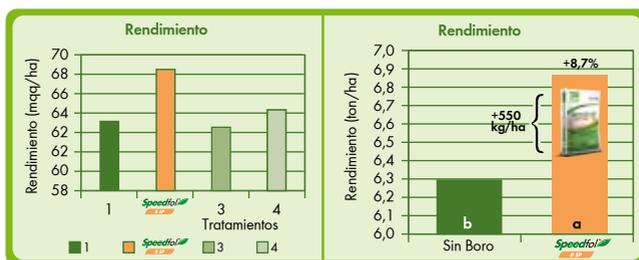


- 9.11 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ Color SP** sobre el **Color de Cubrimiento** sobre Manzanos cv. Gala (*Malus pumila*).
- 9.12 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ Color SP** sobre el Porcentaje de **Sólidos Solubles Totales** en la Fruta sobre Manzanos cv. Gala (*Malus pumila*).
- 9.13 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Speedfol™ Color SP** sobre las **Categorías de Color** sobre Manzanos cv. Fuji (*Malus pumila*).
- 9.14 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Qrop™ Boronat - 32 AG** sobre el **Incremento del Peso Fresco del Racimo** en Banano bajo un Sistema de Riego Tradicional.
- 9.15 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de **Qrop™ Boronat - 32 AG** sobre el **Incremento en el Rendimiento** sobre Papa (*Solanum tuberosum*) bajo un Sistema de Riego Tradicional.

9.1 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre el Rendimiento de Raps (*Brassica napus*)

OBJETIVO	:	Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con Speedfol™ B SP sobre el rendimiento.
CULTIVO	:	<i>Brassica napus</i> , variedad artus.
UBICACIÓN	:	Fundo "El Hualle", Cajón (IX Región), Chile.
FECHA	:	Mayo, 2004.
TRATAMIENTOS	:	Acorde al siguiente cuadro:
RESULTADOS	:	

Tratamientos	Productos	Dosis (l/kg/ha)	Aplicación	Fecha de aplicación
1	Testigo	0	0	0
2	Speedfol™ B SP	2	Pre - floración	16 Septiembre
3	Speedfol™ Vegetative SC	2	"Roseta" (6 - 7 hojas)	25 Agosto
	Speedfol™ Zn SC	0,5	"Roseta" (6 - 7 hojas)	25 Agosto
	Speedfol™ Flower&Fruit SC	2	Pre - flor (floración)	16 Septiembre
	Speedfol™ B SP	1	Pre - flor (floración)	16 Septiembre
4	Champion Foliar Plus (Específico Speedfol™ desarrollado para cereales)	5	Plena floración (50% Floración)	12 Octubre



CONCLUSIONES : El mejor tratamiento fue aplicando durante pre - floración 2 kg/ha de **Speedfol™ B SP**. Se logró el más alto rendimiento en aceite por hectárea (qq/ha * oil) con 3.276,25 l/ha a diferencia del testigo que mostró un rendimiento de aceite de 3.010,14 l/ha. El rendimiento expresado en ton/ha mostró un diferencial a favor de 0,55 ton/ha en el tratamiento con 2 kg de **Speedfol™ B SP** en relación al testigo sin aplicación de Boro. El ensayo de **Speedfol™ B SP**, aplicado en Raps para semilla aceite, logró un beneficio económico de US\$ 118/ha.



9.2 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Rentabilidad en Raps (*Brassica napus*)

OBJETIVO	:	Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con Speedfol™ B SP sobre la Rentabilidad.
CULTIVO	:	<u>Brassica napus</u> , variedad artus.
UBICACIÓN	:	Fundo "El Hualle", Cajón (IX Región), Chile.
FECHA	:	Mayo, 2004.
TRATAMIENTOS	:	Acorde al siguiente cuadro:
RESULTADOS	:	

Tratamientos	Productos	Dosis (l/kg/ha)	Aplicación	Fecha de aplicación
1	Testigo	0	0	0
2	Speedfol™ B SP	2	Pre - floración	16 Septiembre
3	Speedfol™ Vegetative SC	2	"Roseta" (6 - 7 hojas)	25 Agosto
	Speedfol™ Zn SC	0,5	"Roseta" (6 - 7 hojas)	25 Agosto
	Speedfol™ Flower&Fruit SC	2	Pre - flor (floración)	16 Septiembre
	Speedfol™ B SP	1	Pre - flor (floración)	16 Septiembre
4	Champion Foliar Plus (Específico Speedfol™ desarrollado para cereales)	5	Plena floración (50% Floración)	12 Octubre

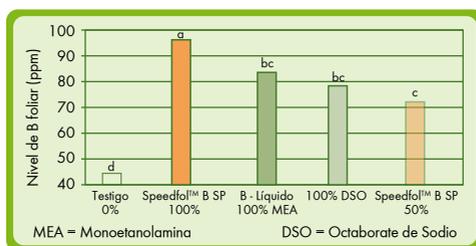


CONCLUSIONES: El mejor tratamiento fue aplicando durante pre-floración 2 kg/ha de **Speedfol™ B SP**. Se logró la más alta rentabilidad, de 818,1% y un margen adicional de US\$ 118/ha, en relación al testigo, convirtiéndose este beneficio económico en la mayor rentabilidad para el agricultor.

9.3 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Absorción de B en la Hoja de Mani (Arachis hypogaea L)

- OBJETIVO : Evaluar la eficiencia o eficacia de **Speedfol™ B SP**, en relación a otros productos de polímeros aplicados para incrementar la absorción de Boro en la hoja.
- CULTIVO : Arachis hypogaea L.
- UBICACIÓN : Campo Experimental, Tifton, Georgia, EE.UU. Bajo sistema de Irrigación de Pivotes.
- FECHA : Inicios: mayo, 2004.
- TRATAMIENTOS : Las aplicaciones foliares de Boro fueron realizadas acorde a análisis de suelos realizados por la Universidad de Georgia, EE.UU. Los tratamientos fueron aplicados a través del sistema de riego en pivotes:
- Las aplicaciones de los tratamientos foliares fueron llevadas a cabo durante el 1 de julio de 2004.
 - Las tomas de muestras de los tratamientos fueron llevadas a cabo durante el 11 de julio de 2004.
 - La cosecha fue mecanizada durante otoño y se midió el rendimiento.
 - Los suelos son arenoso limosos.
- RESULTADOS :
- Se demostró que **Speedfol™ B SP** dio los más altos niveles de Boro en hojas de maní en la dosis recomendada 0.56 kg B/ha.
 - El Octaborato de sodio (DSO) a 0,56 kg B/ha dió un significado estadístico de ($P < 0,05$) más bajo en la hoja de Boro que **Speedfol™ B SP** a 0.56 kg B/ha.
 - La dosis más baja de **Speedfol™ B SP** at 0.28 kg B/ha no fue estadísticamente diferente ($P < 0,05$) en términos de nivel de Boro en la hoja en comparación a DSO a 0.56 kg B/ha. Esto significa que la mitad de la dosis de **Speedfol™ B SP** es tan eficiente como una dosis completa de DSO.
 - El nivel de Boro en la hoja de maní, después de una o varias aplicaciones foliares de productos y dosis (0,5 y 0,25 kg B/ha), se aprecia en el siguiente cuadro.





Producto Boro	Dosis kg B /ha	Nivel de B en hoja (ppm)	Estadística P < 0.05%
Testigo	0	46,3	d
100% Speedfol™ B SP	0,56	95,8	a
100% B líquido MEA	0,56	83,1	bc
100% DSO	0,56	77,1	bc
50% Speedfol™ B SP	0,28	72,3	c

ME A = Monoetanolamina - DSO = Octaborate de sodio - LSD [0,05] = 12,1

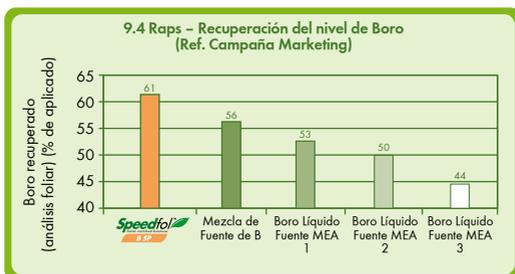
CONCLUSIONES : **Speedfol™ B SP** es la fuente más eficiente de Boro para aplicación foliar en maní.

9.4 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Recuperación del Nivel de B Foliar (en Relación a Otras 4 diferentes Fuentes de Competidores presentes en el Mercado Mundial) de Raps (Brassica napus)

OBJETIVO	:	Evaluar la eficiencia en la recuperación del nivel de Boro en el tejido de la planta al aplicar Speedfol™ B SP , en relación a otros 4 diferentes fuentes de competidores presentes en el mercado del Boro bajo condiciones de lavados por lluvias en exceso.
CULTIVO	:	Raps (<u>Brassica napus</u>)
UBICACIÓN	:	Yara Hanninghof Research Station, Alemania.
FECHA	:	2005.
TRATAMIENTOS	:	<ul style="list-style-type: none">• Se aplicaron los tratamientos con los diferentes productos boratados en el estado de 3-4 hojas en el equivalente de dosis de 450 g B/ha, con similar recomendación para todos los productos aplicados.• Los tratamientos consideraron aplicar Speedfol™ B SP y 4 diferentes fuentes de competidores presentes en el mercado del Boro tales como Monoetanolamina (MEA), complejada con Boro y una mezcla de Ácido Bórico, bórax pentahidratado y Pentaborato de Sodio entre ellos.• Las condiciones de lavados como la lluvia fue simulada a las 2 horas después de aplicados los tratamientos (se consideraron 15 mm de lluvia), seguida por una lluvia simulada a los 3 y 7 días después de los tratamientos.• La cosecha fue realizada después de 2 semanas de realizados los tratamientos y el tejido fue analizado para evaluar su contenido foliar.



RESULTADOS:



MEA = Monoetanolamina, complejoado con Boro.
Mezcla de Boro = Ácido Bórico + Borax Pentahidratado + Pentaborato de Sodio

CONCLUSIONES : **Speedfol™ B SP** es la fuente más eficiente de Boro para aplicación foliar, ya que el mayor porcentaje del elemento Boro recuperado (mayor a 60%) fue observado con este producto en relación al más bajo de los competidores que mostró un 44% de recuperación del contenido de Boro en el tejido. Cabe señalar que todos los productos inducen un aumento significativo del contenido de Boro en el análisis del tejido.

9.5 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Incidencia de Bitter pit en la Fruta sobre Manzanos cv. Braeburn (Malus pumila)

- OBJETIVO : Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con **Speedfol™ B SP** sobre la Incidencia de Bitter pit en la fruta después de 4 meses de almacenaje en FC + 10 días a 20°C.
- CULTIVO : Malus pumila, variedad Braeburn,.
- UBICACIÓN : Huerto Esperanza, Yervas Buenas, VII región. Ensayo fue llevado a cabo por departamento de centro de Pomáceas. Universidad de Talca, VII Región. Chile.
- FECHA : Temporada 2005 - 2006.
- TRATAMIENTOS : Acorde al siguiente cuadro:

Tratamiento	Producto Speedfol™	Dosis	Observación
Testigo	Sin aplicaciones foliares		
Speedfol™ SQM 1	Amino Calmag SL	5 l/ha	2 aplicaciones en fruto pequeño.
	Amino Calmag SL	5 l/ha	
	Speedfol™ Ca SC	4 l/ha	6 aplicaciones en pleno crecimiento de fruto (repetir cada 7 a 10 días).
Speedfol™ SQM 2	Amino Calmag SL+	5 l/ha	2 aplicaciones en fruto pequeño.
	Speedfol™ B SP	1 kg/ha	
	Amino Calmag SL+	5 l/ha	6 aplicaciones en pleno crecimiento de fruto (repetir cada 7 a 10 días).
	Speedfol™ B SP	1 kg/ha	
Speedfol™ Ca S	4 l/ha		

- NOTA : **Speedfol™ Amino Calmag SL**, tiene como composición en p/v: CaO= 8,8%; MgO= 3,5% y aminoácidos (AA)= 43,6%.
- Speedfol™ Ca SC**, contiene como composición en p/v: CaO = 56,0%.
- Speedfol™ B SP**, contiene como composición en p/p: B = 17% (Ácido Bórico).



RESULTADOS : Después de 4 meses de almacenaje en FC + 10 días a 20 ° C (Caja con Proceso de embalaje).

Tratamientos	Incidencia de Bitter pit (%)		
	Externo	Subepidermal	Interno
Testigo	11,9	14,3	9,5
SQM 1 (aminoácidos+Ca)	27,3	24,2	15,2
SQM 2 (aminoácidos+B+Ca)	7,4	7,4	3,7

CONCLUSIONES : El tratamiento de **Speedfol™** que incluyó la aplicación de Boro en forma adicional, a través del producto **Speedfol™ B SP** en dosis de 0,1 kg B/ha, obtuvo el menor porcentaje de fruta con el desorden nutricional llamado "Bitter pit", destacándose que los valores corresponden a la medición de la incidencia de "Bitter pit" a nivel externo, subepidermal e interno de la fruta.

9.6 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre la Absorción Foliar de Elementos tales como Boro y Calcio sobre Manzanas cv. Braeburn (Malus pumila)

- OBJETIVO : Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con **Speedfol™ B SP** sobre la Absorción Foliar de elementos tales como Boro y Calcio.
- CULTIVO : Malus pumila, variedad Braeburn.
- UBICACIÓN : Huerto Esperanza, Yerbas Buenas, VII región. Ensayo fue llevado a cabo por Departamento de Centro de Pomáceas. Universidad de Talca, VII Región. Chile.
- FECHA : Temporada 2005 - 2006
- TRATAMIENTOS : Acorde al siguiente cuadro:

Tratamiento	Producto Speedfol™	Dosis	Observación
Testigo	Sin aplicaciones foliares		
Speedfol™ SQM 1	Amino Calmag SL	5 l/ha	2 aplicaciones en fruto pequeño.
	Amino Calmag SL	5 l/ha	
	Speedfol™ Ca SC	4 l/ha	6 aplicaciones en pleno crecimiento de fruto (repetir cada 7 a 10 días).
Speedfol™ SQM 2	Amino Calmag SL+	5 l/ha	2 aplicaciones en fruto pequeño.
	Speedfol™ B SP	1 kg/ha	
	Amino Calmag SL+	5 l/ha	6 aplicaciones en pleno crecimiento de fruto (repetir cada 7 a 10 días).
	Speedfol™ B SP	1 kg/ha	
	Speedfol™ Ca S	4 l/ha	

- NOTA : **Speedfol™ Amino Calmag SL**, tiene como composición en p/v: CaO= 8,8%; MgO= 3,5% y aminoácidos (AA) = 43,6%.
- Speedfol™ Ca SC**, contiene como composición en p/v: CaO= 56,0%.
- Speedfol™ B SP**, contiene como composición en p/p: B= 17% (Ácido Bórico).

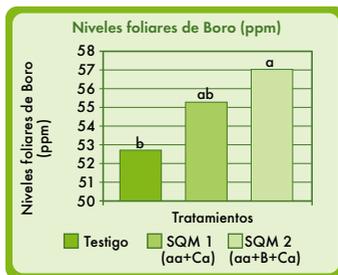
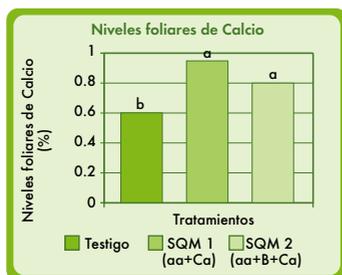


RESULTADOS

Tratamiento	%					ppm				
	N ^[x]	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Cu	B	M.S.(%)
SQM 1	2,2	0,13	1,5	0,9a	0,2	66,3b	34,7a	6,3	55,3ab	40,1
SQM 2	2,0	0,12	1,5	0,8a	0,2	63,7b	34,0a	6,3	57,0a	41,1
TH	2,0	0,13	1,4	0,7b	0,2	91,0a	32,0a	6,3	53,0b	40,9
Testigo	2,1	0,12	1,4	0,6b	0,2	94,3a	14,7b	6,3	52,7b	41,1
Significancia ^[z]	n.s	n.s	n.s	**	n.s	*	**	n.s	*	n.s

[x] valores en una misma columna seguidos de igual letra, no difieren estadísticamente según test LSD.

[z] significancia: n.s, no significativo; *, $p \leq 0,01$. Valores expresados en peso fresco.



CONCLUSIONES: El tratamiento de **Speedfol™** que incluyó la aplicación de Boro en forma adicional a través del producto **Speedfol™ B SP** en dosis de 1 kg B/ha, obtuvo el mayor contenido foliar de elementos importantes como calcio y Boro, teniéndose diferencias significativas en el uso de calcio y Boro aplicados en conjunto respecto al tratamiento testigo.

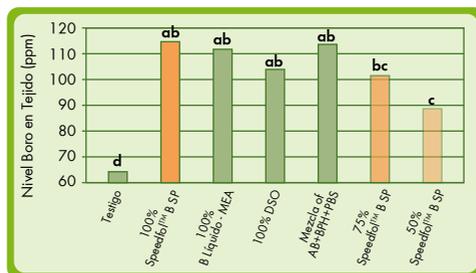
9.7 Ensayo de Cooperación en Campo de Speedfol™ B SP sobre el Incremento de la Absorción de B en la Hoja sobre Algodón (Gossypium spp.) bajo un Sistema de Riego en Pivote

OBJETIVO	:	Evaluar la eficiencia o eficacia de Speedfol™ B SP , en relación a otros productos de polímeros aplicados para incrementar la absorción de Boro en la hoja.
CULTIVO	:	<u>Gossypium</u> spp.
UBICACIÓN	:	Campo Experimental, Expo Sunbelt en Moultrie, Georgia, EE.UU. Bajo sistema de Irrigación de Pivotes.
FECHA	:	Inicios de mayo, 2004.
TRATAMIENTOS	:	Las aplicaciones foliares de Boro fueron realizadas acorde a análisis de suelos realizados por la Universidad de Georgia, EE.UU. Los tratamientos fueron aplicados a través del sistema de riego en pivotes: <ul style="list-style-type: none">• Las aplicaciones de los tratamientos foliares fueron llevadas a cabo durante el 7 de julio de 2004.• Las tomas de muestras de los tratamientos fueron llevadas a cabo durante el 18 de julio de 2004.• La cosecha fue mecanizada durante otoño y se midió el rendimiento, asumiendo una producción neta de 40%.• Los suelos son arenoso limosos.
RESULTADOS	:	<ul style="list-style-type: none">• Se demostró que Speedfol™ B SP dio los más altos niveles de Boro en hojas de algodón en la dosis recomendada 0.56 kg B/ha.• La dosis más baja de Speedfol™ B SP (75%) a 0,42 kg B/ha no fue estadísticamente diferente ($P < 0,05$) en términos de nivel de Boro en la hoja en comparación a DSO a 0.56 kg B/ha. Esto significa que el 75% de la dosis de Speedfol™ B SP es tan eficiente como una dosis completa de Octaborato de Sodio (DSO).• El nivel de Boro en la hoja de algodón después de una o varias aplicaciones foliares de productos y dosis. (0,56 y 0,28 kg B/ha) se aprecia en el siguiente cuadro.



Producto Boro	Dosis kg B/ha	Nivel de B Foliar (ppm)	Estadística P < 0.05%
Testigo	0	64	d
100% Speedfol™ B SP	0,56	115	ab
100% B líquido MEA	0,56	112	ab
100% DSO	0,56	104	ab
Mezcla de AB+BPH+PBS	0,56	113	ab
75% Speedfol™ B SP	0,42	101	bc
50% Speedfol™ B SP	0,28	88	c

MEA = Monoetanolamina - DSO = Octaborato de Sodio
 Mezcla de AB+BPH+PBS = Mezcla de Ácido Bórico +
 Bórax Pentahidratado + Pentaborato de Sodio



CONCLUSIONES : **Speedfol™ B SP** es la fuente más eficiente de Boro para aplicación foliar en algodón bajo sistema de pivote.

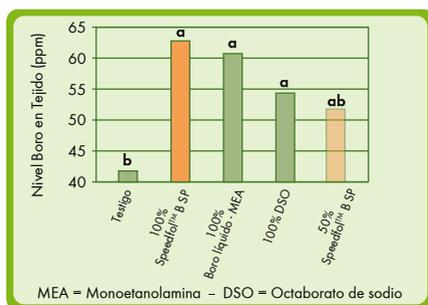
9.8 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ B SP sobre el Incremento de la Absorción de B en la Hoja sobre Algodón (Gossypium spp.) bajo un Sistema de Secano, sin Irrigación

OBJETIVO	:	Evaluar la eficiencia o eficacia de Speedfol™ B SP , en relación a otros productos de polímeros aplicados para incrementar la absorción de Boro en la hoja.
CULTIVO	:	<u>Gossypium spp.</u>
UBICACIÓN	:	Huerta UGA Bowen, Georgia, EE.UU. Bajo sistema de Secano, sin Irrigación.
FECHA	:	Plantando a Inicios de junio, 2004
TRATAMIENTOS	:	Las aplicaciones foliares de Boro fueron realizadas acorde a análisis de suelos realizados por la Universidad de Georgia, EE.UU. Los tratamientos fueron aplicados a través del sistema de riego en pivotes: <ul style="list-style-type: none">• Las aplicaciones de los tratamientos foliares fueron llevadas a cabo durante el 28 de julio de 2004.• Las tomas de muestras de los tratamientos fueron llevadas a cabo durante el 9 de agosto de 2004.• La cosecha fue mecanizada durante otoño y se midió el rendimiento, asumiendo una producción neta de 40%.
RESULTADOS	:	<ul style="list-style-type: none">• Se demostró que Speedfol™ B SP dio los más altos niveles de Boro en hojas de algodón en la dosis recomendada 0,56 kg B/ha.• La dosis más baja de Speedfol™ B SP (50%) a 0,28 kg B/ha no fue estadísticamente diferente ($P < 0,05$) en términos de nivel de Boro en la hoja en comparación a DSO a 0,56 kg B/ha. Esto significa que el 50% de la dosis de Speedfol™ B SP es tan eficiente como una dosis completa de Octobarato de Sodio (DSO).• El nivel de Boro en la hoja de algodón después una o varias aplicaciones foliares de productos y dosis. (0,56 y 0,28 kg B/ha) se aprecia en el siguiente cuadro.



Producto Boro	Dosis kg B/ha	Nivel de B Foliar (ppm)	Estadística P < 0.05%
Testigo	0	43	b
100% Speedfol™ B SP	0,56	61	a
100% B líquido MEA	0,56	60	a
100% DSO	0,56	54	a
50% Speedfol™ B SP	0,28	52	ab

MEA = Monoetanolamina - DSO = Octaborato de Sodio



CONCLUSIONES : **Speedfol™ B SP** es la fuente más eficiente de Boro para aplicación foliar en algodón bajo sistema de secado, sin irrigación.

9.9 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre las Categorías de Color sobre Manzanos cv. Gala (Malus pumila)

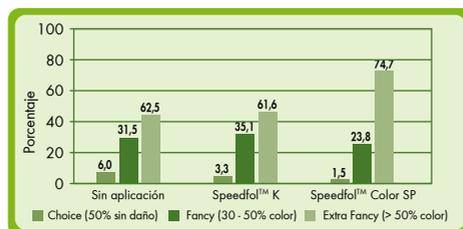
- OBJETIVO : Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con **Speedfol™ Color SP** sobre las Categorías de Color acorde a Normas de Calidad de Exportación de fruta fresca.
- CULTIVO : Malus pumila, variedad Gala.
- UBICACIÓN : Universidad de Talca. Departamento de Centro de Pomáceas. Talca, VII Región. Chile.
- FECHA : Temporada 2005 - 2006
- TRATAMIENTOS : Acorde al siguiente cuadro:

Tratamiento	Producto Speedfol™	Dosis	Observación
Testigo	Sin aplicaciones Foliares		
Speedfol™	KSL	5 l/ha	20 días antes de cosecha
SQM 1	KSL	5 l/ha	10 días antes de cosecha
Speedfol™	Color SP	6 kg/ha	20 días antes de cosecha
SQM 2	Color SP	6 kg/ha	10 días antes de cosecha

- NOTA : **Speedfol™ Color SP**, tiene como composición en p/p: $P_2O_5 = 48,3\%$; $K_2O = 31,6\%$ y $B = 2\%$ (Ácido Bórico). **Speedfol™ K SL**, contiene como composición en p/p ($K_2O = 18,5\%$) y en p/v ($K_2O = 24,1\%$).
- RESULTADOS : Categorías de color a considerar sin: (Choice, 50% sin daño; Fancy 30 - 50%; Extra Fancy > 50%).



Tratamientos	Categorías Color (% Color Rojo)		
	Choice (50%)	Fancy (30 - 50%)	Extra fancy (>50% Color)
Testigo	6,0	31,5	62,5
Speedfol™ K SL SQM 1	3,3	35,1	61,6
Speedfol™ Color SP SQM 2	1,5	23,8	74,7



CONCLUSIONES: El tratamiento con **Speedfol™ Color SP** obtuvo el mayor porcentaje de fruta dentro de la categoría de mayor color de cubrimiento (> 50% de Color).

9.10 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre la Incidencia de Bitter pit en la Fruta sobre Manzanos cv. Gala (Malus pumila)

- OBJETIVO : Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con **Speedfol™ Color SP** sobre la Incidencia de Bitter pit en la fruta durante 3 meses en Frío Convencional + 20 días a 20°C.
- CULTIVO : Malus pumila, variedad Gala.
- UBICACIÓN : Universidad de Talca. Departamento de Centro de Pomáceas. Talca, VII Región. Chile.
- FECHA : Temporada 2005 - 2006
- TRATAMIENTOS : Acorde al siguiente cuadro:

Tratamiento	Producto Speedfol™	Dosis	Observación
Testigo	Sin aplicaciones Foliares		
Speedfol™	KSL	5 l/ha	20 días antes de cosecha
SQM 1	KSL	5 l/ha	10 días antes de cosecha
Speedfol™	Color SP	6 kg/ha	20 días antes de cosecha
SQM 2	Color SP	6 kg/ha	10 días antes de cosecha

- NOTA : **Speedfol™ Color SP**, tiene como composición en p/p: P₂O₅= 48,3%; K₂O= 31,6% y B= 2% (Ácido Bórico). **Speedfol™ K SL**, contiene como composición en p/p (K₂O= 18,5%) y en p/v (K₂O= 24,1%).
- RESULTADOS : A Salida de Almacenamiento: 3 meses en Frío Convencional + 20 días a 20°C.

Tratamiento	Incidencia Bitter Pit (%)		
	Externa	Subepidermal	Interna
Sin aplicación	1,0	2,3	2,3
Speedfol™ K	0,0	3,3	4,0
Speedfol™ Colour	0,0	0,7	1,0
Significancia^[a]	n.s	n.s	n.s

Significancia ^[a]: n.s. señala no significancia (*); p<0,05**; P<0,01. tasas expresadas en peso fresco.

CONCLUSIONES : El tratamiento con **Speedfol™ Color SP** obtuvo el menor porcentaje de fruta con el desorden nutricional llamado "Bitter Pit", destacándose que los valores corresponden a la medición de la incidencia a nivel subepidermal e interno de la fruta.



9.11 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre el Color de Cubrimiento sobre Manzanos cv. Gala (Malus pumila)

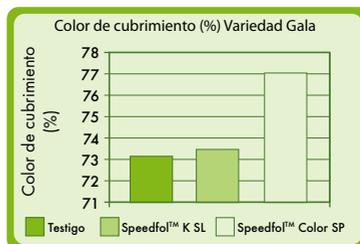
- OBJETIVO : Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con **Speedfol™ Color SP** sobre el Color de Cubrimiento.
- CULTIVO : Malus pumila, variedad Gala.
- UBICACIÓN : Universidad de Talca. Departamento de Centro de Pomáceas. Talca, VII Región. Chile.
- FECHA : Temporada 2005 - 2006
- TRATAMIENTOS : Acorde al siguiente cuadro:

Tratamiento	Producto Speedfol™	Dosis	Observación
Testigo	Sin aplicaciones Foliares		
Speedfol™	KSL	5 l/ha	20 días antes de cosecha
SQM 1	KSL	5 l/ha	10 días antes de cosecha
Speedfol™	Color SP	6 kg/ha	20 días antes de cosecha
SQM 2	Color SP	6 kg/ha	10 días antes de cosecha

- NOTA : **Speedfol™ Color SP**, tiene como composición en p/p: $P_2O_5 = 48,3\%$; $K_2O = 31,6\%$ y B = 2% (Ácido Bórico). **Speedfol™ K SL**, contiene como composición en p/p ($K_2O = 18,5\%$) y en p/v ($K_2O = 24,1\%$)

- RESULTADOS : Durante cosecha.

Tratamiento	Color de Cubrimiento %
Testigo	73,2 b
Speedfol™ K SL SQM 1	73,7 b
Speedfol™ Color SP SQM 2	77,1 a
Significancia	(*)



CONCLUSIONES : El tratamiento con **Speedfol™ Color SP** obtuvo durante la cosecha el mayor porcentaje de color de cubrimiento en la fruta, existiendo diferencias significativas en relación a los otros 2 tratamientos incluyendo el testigo, sin aplicación.

9.12 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre el Porcentaje de Sólidos Solubles Totales en la Fruta sobre Manzanos cv. Gala (*Malus pumila*)

- OBJETIVO : Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con **Speedfol™ Color SP** sobre el Porcentaje de Sólidos Solubles Totales en la fruta.
- CULTIVO : *Malus pumila*, variedad Gala.
- UBICACIÓN : Universidad de Talca. Departamento de Centro de Pomáceas. Talca, VII Región. Chile.
- FECHA : Temporada 2005 - 2006.
- TRATAMIENTOS : Acorde al siguiente cuadro:

Tratamiento	Producto Speedfol™	Dosis	Observación
Testigo	Sin aplicaciones Foliares		
Speedfol™	KSL	5 l/ha	20 días antes de cosecha
SQM 1	KSL	5 l/ha	10 días antes de cosecha
Speedfol™	Color SP	6 kg/ha	20 días antes de cosecha
SQM 2	Color SP	6 kg/ha	10 días antes de cosecha

- NOTA : **Speedfol™ Color SP**, tiene como composición en p/p: $P_2O_5 = 48,3\%$; $K_2O = 31,6\%$ y B= 2% (Ácido Bórico).
Speedfol™ K SL, contiene como composición en p/p ($K_2O = 18,5\%$) y en p/v ($K_2O = 24,1\%$).

- RESULTADOS : Durante cosecha.

Tratamiento	Sólidos Solubles (° Brix)
Testigo	12,6 b
Speedfol™ K SL SQM 1	12,7 ab
Speedfol™ Color SP SQM 2	13,5 a
Significancia	(*)



CONCLUSIONES : El tratamiento con **Speedfol™ Color SP** obtuvo durante la cosecha el mayor porcentaje de sólidos solubles en la fruta, existiendo diferencias significativas en relación al testigo, sin aplicación.



9.13 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Speedfol™ Color SP sobre las Categorías de Color sobre Manzanos cv. Fuji (Malus pumila)

- OBJETIVO : Evaluar el efecto de las aplicaciones foliares con **Speedfol™ Color SP** sobre las categorías de Color acorde a Normas de Calidad de Exportación de fruta fresca.
- CULTIVO : Malus pumila, variedad Fuji.
- UBICACIÓN : Fundo el Vaticano. Ensayo realizado por Departamento de Centro de Pomáceas. U. De Talca, VII Región. Chile.
- FECHA : Temporada 2005 - 2006
- TRATAMIENTOS : Acorde al siguiente cuadro:

Tratamiento	Producto Speedfol™	Dosis	Observación
Testigo	Sin aplicaciones Foliares		
Speedfol™	KSL	5 l/ha	20 días antes de cosecha
SQM 1	KSL	5 l/ha	10 días antes de cosecha
Speedfol™	Color SP	6 kg/ha	20 días antes de cosecha
SQM 2	Color SP	6 kg/ha	10 días antes de cosecha

- NOTA : **Speedfol™ Color SP**, tiene como composición en p/p: $P_2O_5 = 48,3\%$; $K_2O = 31,6\%$ y B = 2% (Ácido Bórico).
Speedfol™ K SL, contiene como composición en p/p ($K_2O = 18,5\%$) y en p/v ($K_2O = 24,1\%$).
- RESULTADOS : Durante cosecha.

Tratamientos	Categoría Color (% Color rojo)		
	Choice/Fancy (50 %)	Extra Fancy (30 - 50 %)	Premium (>50%)
Testigo	21,4	60,5	18,1
Speedfol™ K SL SQM 1	12,1	73,0	14,9
Speedfol™ Color SP SQM 2	15,6	56,8	27,6

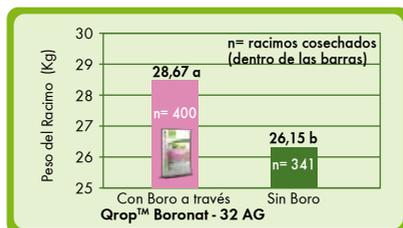
CONCLUSIONES : El tratamiento con **Speedfol™ Color SP** obtuvo durante la cosecha el mayor porcentaje de fruta dentro de la categoría de mayor color de cubrimiento (> 50% de Color).

9.14 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Qrop™ Boronat - 32 AG sobre el Incremento del Peso Fresco del Racimo en Banano (*Musa sapientum*) bajo un Sistema de Riego Tradicional

- OBJETIVO : Evaluar el efecto de la aplicaciones al suelo de **Qrop™ Boronat - 32 AG** sobre el Peso fresco del racimo y el número de racimos cosechados.
- CULTIVO : *Musa sapientum* (banano).
- UBICACIÓN : Costa Rica.
- FECHA : Período del ensayo: mayo a diciembre, 1996.
- TRATAMIENTOS : De acuerdo al siguiente cuadro:

Tratamiento	Boro (kg/ha/año)
Testigo	Sin aplicación de Boro
Tratamiento 1	5,6 kg B/ha/año con Qrop™ Boronat - 32 AG

- RESULTADOS : Los rendimientos totales de banana fueron comparables, como se muestra en la siguiente tabla, pero la mejor calidad en la parte tratada con **Qrop™ Boronat - 32 AG** se reflejó en un ingreso bruto 10% mayor.



- CONCLUSIONES : El mayor peso fresco del racimo de banano (kg) y mayor número de racimos cosechados fue con el tratamiento con **Qrop™ Boronat - 32 AG** en relación al tratamiento testigo sin aplicación de Boro.



9.15 Ensayo de Cooperación en Campo del Efecto de Qrop™ Boronat - 32 AG sobre el Incremento en el Rendimiento sobre Papa (Solanum tuberosum) bajo un Sistema de Riego Tradicional

OBJETIVO	:	Evaluar el efecto de las aplicaciones al suelo de Qrop™ Boronat - 32 AG sobre el rendimiento.
CULTIVO	:	<u>Solanum tuberosum</u> , cultivar "Russet Norkotah".
UBICACIÓN	:	Pasco, Washington, EE.UU.
FECHA	:	15 de marzo, 1997 (siembra).
TRATAMIENTOS	:	De acuerdo al siguiente cuadro:

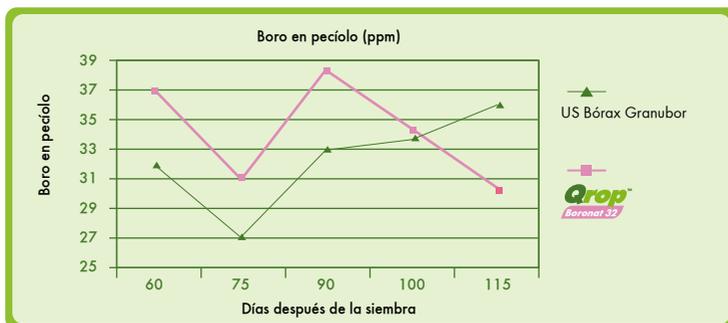
Tratamiento	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	SO ₄ (kg/ha)	B (kg/ha)
Testigo (Agricultor)	275	225	210	110	2 Uso solo de US Bórax Granubor en la mitad de la dosis
Tratamiento 1	275	225	210	110	2 Uso solo de Qrop™ Boronat 32 - AG en la mitad de la dosis

NOTA 1	:	Adicionalmente se aplicó al suelo durante la preemergencia la cantidad de (kg/ha) de: 100 kg N/ha; 100 kg P ₂ O ₅ /ha y 65 kg S/ha en preemergencia, y
NOTA 2	:	Adicionalmente se aplicó foliarmente la cantidad de: 4,5 kg Nutraphos ZMC/ha; 5,5 lt Powergizer 8 - 32 - 5/ha, y 1,6 l Magnesio 4% líquido/ha. Antecedentes de suelos: se trata de un suelo franco arenoso, con bajo porcentaje de materia orgánica, cuyas características son:

pH	M.O (%)	NO ₃ +NH ₄ ⁺								
			K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	B	
7,8	0,8	18	225	6,5	3,0	15,7	3,6	1,1	0,45	

RESULTADOS	:	Los rendimientos totales de papa fueron comparables, como se muestra en la siguiente tabla, pero la mejor calidad en la parte tratada con Qrop™ Boronat - 32 AG se reflejó en un ingreso bruto 10% mayor. Además los niveles de Boro en pecíolos de hoja fueron superiores con Qrop™ Boronat - 32 AG que con US Borax Granubor, excepto en la última fecha de muestreo.
------------	---	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Categoría de tubérculos	US Bórax Granubor		Qrop™ Boronat - 32 AG	
> 330g	18,7	US\$ 2.332,40	22,8	US\$ 2.844,80
200 - 330g	16,1	US\$ 2.222,70	18,1	US\$ 2.504,80
150 - 200g	13,8	US\$ 1.480,80	12,9	US\$ 1.382,40
Descarte	12,9	US\$ 143,75	8,8	US\$ 98,00
Rendimiento Total (ton/ha)	61,5	US\$ 6.179,65	62,5	US\$ 6.830,00



CONCLUSIONES : El mejor tratamiento en calidad de tubérculo, en rentabilidad bruta (mayor al 10%) y en obtener mayores niveles foliares de Boro en peciolos fue con el tratamiento con **Qrop™ Boronat – 32 AG** en relación al tratamiento testigo con US Bórax Granubor.



10 Literatura Citada

- Afipa® A.G. 2003.** Manual fitosanitario 2002-2003. Chile. 1214p.
- Alarcón, A. 2001.** El Boro como elemento esencial. VII seminario internacional en tecnologías aplicadas a cultivos hortícolas. Organizado por **SQM** México, Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Alarcón, A. 2002.** El Boro como nutriente esencial. Presentado en sección Aspectos fisiológicos y dinámica en el suelo y planta (I Parte). Revista Agrícola Hortalizas, Frutas y Flores, Agosto. pp 38 - 42.
- Alarcón, A. 2002.** El Boro en la nutrición y fertilización de los cultivos. Presentado en sección Aspectos fisiológicos y dinámica en el suelo y planta (II Parte). Revista Agrícola Hortalizas, Frutas y Flores, Septiembre. pp 33 - 36.
- Alarcón, A. 2003.** El Boro como elemento esencial. VII seminario internacional en tecnologías aplicadas a cultivos hortícolas. Organizado por **SQM** México, Puerto Vallarta, Jalisco, México.
- Allaway, B. 2004.** Zinc in soils and crop nutrition. Int. Zinc Ass. Brussels. 129p.
- Baier, J y Baierova, V. 1999.** In Proceedings of the 2nd workshop on foliar fert. p. 124; Eds. El Fouly et al., Bangkok, Thailand.
- Beede, R. 2006.** Berry cracking in table grapes. U.C. Farm advisor kings country. Technical report. 4p.
- Bonilla et al. 1994.** Boro y Zinc: Dos elementos limitantes en Colombia. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Palmira, Colombia. 47p.
- Bonilla, L. y Bolaños, L. 2007.** El Boro, elemento requerido en dosis mínimas para procesos de desarrollo vegetal y animal. Departamento de Biología, Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. Presentado por Oficina de Programa Cultural Científica. OCCUAM. España.
- Brown, P y Hu, H. 1996.** Phloem mobility of Boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. Annals of botany 77: 497 - 505.
- Brown, P y Hu, H. 1998.** Boron Mobility and Consequent Management in Different Crop, Better Crops 82: 28 - 31.
- Brown, P y Hu, H. 1999.** Occurrence of sugar alcohols determines Boron toxicity symptoms of ornamentals species. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 124 (4): 347 - 352.
- Brown, P. 2000.** Physiological links of growth stage and nutrient demand: trees. 14 p.
- Brown, P et al. 2002.** Boron in Plant Biology. Review article. Plant Biol. 4: 205 - 223.
- Brown, P. 2007.** Boro, probablemente el mayor mercado de micronutrientes por desarrollar en el mundo. Entrevistas, en sección Productos & Tendencias, New Ag Internacional en Español. 5: 16 - 24.

- Buckman, H. y Brady, N. 1977.** Naturaleza y propiedades de los suelos. Primera edición, reimpresión. Editorial Montaner y Simón, S.A. 590p.
- Bull, B. 2002.** Nutrition on Potatoes. Material interno Yara (Ex Hydro Agri Specialities).
- Cadahía, C. 2000.** Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Segunda edición, revisada. Editorial Grupo Mundi - Prensa, Madrid, España. 474p.
- Cadahía, C. 2003.** Fertirrigación. Segundo seminario internacional de fertirriego. Organizado por SQMC, Santiago, Chile.
- Cadahía, C. 2005.** Fertirrigación. Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales. Tercera edición, revisada. Editorial grupo Mundi - Prensa, Madrid, España. 681p.
- Cadahía, C. 2008.** La savia como índice de fertilización. Cultivos agroenergéticos, hortícolas, ornamentales y frutales. Editorial grupo Mundi - Prensa, España. 256p.
- Callejas, R. 2003.** Boro como elemento nutricional. Diplomado de fisiología en uva de mesa. Curso organizado por el centro de estudios de la vid (Cevid). Facultad de Agronomía, Universidad de Chile.
- Callejas, R. 2004.** Fundamentos fisiológicos del uso de fertilizantes foliares en uva de mesa. Seminario capacitación interna SQMC - Proyecto foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.
- Callejas, R. 2004.** Interpretación de análisis foliares, visión crítica del seguimiento foliar de los parrones (oportunidad de desarrollo). Algunas experiencias prácticas del uso de fertilizantes foliares. Seminario capacitación interna SQMC - Proyecto foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.
- Canaves, L. 2004.** Fundamentos morfoanatómicos y su relación con la fertilización foliar. Seminario capacitación interna SQMC - Proyecto Foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.
- Catalá, J. 2005.** Apuntes sobre nutrición cálcica. Primer seminario internacional de nutrición y fertirriego, organizado por YaraColombia/**SQM**, Bogota, Colombia.
- Cruz, M. 2005.** Enmascaramiento por microorganismos. Deficiencia o exceso de Boro. Revista Tierra Adentro (Marzo - Abril) 61: pp 50 - 52.
- Domínguez, A. 1996.** Fertirrigación. Segunda edición. Ediciones Mundi Prensa, España. 233p.
- Domínguez, A. 1997.** Tratado de fertilización. Tercera edición. Ediciones Mundi Prensa, España. 613p.
- Dordas, C. 2006.** Foliar Boron application affects lint and seed yield and improves seed quality of cotton grown on calcareous soils. Nut Cycl Agroecosyst 76: 19 - 28.
- Fassbender, H y Bomemisza, E. 1987.** Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. Colección Libros y Materiales Educativos N°81. 420p.



- Finck, A. 1988.** Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos. Editorial Reverté S.A., Barcelona, España. 437p.
- Holwerda, H. 2004.** Generalidades en la fertilización foliar. Seminario Capacitación interna SQMC – Proyecto foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.
- Holwerda, H y Palma, J. 2004.** Presentación nueva línea foliar **SQM**: características, ventajas y beneficios. Capacitación interna SQMC – Proyecto Foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.
- Inia. 2008.** Laboratory of soil. Table of interpretation in analysis of soil. INIA – Chillán, Chile.
- Ishii, T y Matsunaga, T. 1996.** Isolation and characterization of a Boron – rhamnogalacturonan – II complex from cel walls of sugar beet pulp. Carbohydr. Res. 284: 1 – 9.
- Ishii et al., 1999.** The plant cell wall polysaccharide rhamnogalacturonan II self-assembles into a covalently cross-linked dinner. J. Biol. Chem. 274: 13098 – 13104.
- Ishii, T y Matsunaga, T. 2001.** Pectic polysaccharide rhamnogalacturonan II is covalently linked to homogalacturonan. Phytochemistry, 57 (6): 969 – 974.
- Ishii, T; Matsunaga, T. and Hayashi, N. 2001.** Formation of rhamnogalacturonan II - borate dimer in pectin determines cell wall thickness of pumpkin tissue. Plant Physiol., 126(4): 1698-1705.
- Kobayashi, M et al. (1996):** Two chains of rhamnogalacturonam II are cross-linked by borate-diol ester bonds in higher plant cell walls. Plant Physiol. 110: 1017 – 1020.
- Kuesters, J. 2004.** Importance of Boron in Pome Fruits - Research Centre Hanninghof. Presented during Pome fruits Workshop organized by **Yara/SQM**, Krakow, Polonia.
- Legaz, F., Primo-Millo, E. 1988.** Normas para la fertilización de los agríos. Generalitat Valenciana Conselleria d'Agricultura i Pesca. 29p.
- Legaz, F., et al. 2000.** Alteraciones producidas por deficiencias y excesos de elementos minerales en los cítricos. Monografía de la sociedad española de fitopatología, 2: 107 - 114.
- Legaz, F., Serna, M. y Primo - Millo, E. 2000.** Sintomatologías de las deficiencias y excesos minerales en los cítricos. Comunidad Valenciana Agraria. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. pp 3 – 10. (ver además web site <http://www.ivia.es/sdta/pdf/revista/citricos/05tema11.pdf>).
- López, A. y Espinosa, J. 1995.** Manual de nutrición y fertilización del banano. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Publicaciones Técnicas. 75p.
- Matsunaga, T. y Nagata, N. 1995.** In vivo ¹¹B NMR observation of plant tissue, Anal. Sci., 11: 889 – 892.
- Matsunaga, T. y Ishii, T. 2004.** Chemical form and function of Boron in plants. Plant nutritional biochemistry of Boron.
- Mengel, K y E.A. Kirkby. 1987.** Principles of plant nutrition. 4th edition. International Potash Institute, Bern, Switzerland. pp 559-560.

Mühling, K; Wimmer, M. y Goldbach, H. 1998. Apoplastic and membrane-associated Ca⁺ in leaves and roots as affected by Boron deficiency. *Physiol. Plant.* 102: 179 – 184.

Naito, R; Fujimoto, J y Yamamura, H. 1983. Effects of shorts vigor and SADH application to clusters before anthesis on berry set in kyoho grapes. *Am. J. Enol. Vitic., Vol. 34 (3):* 142 – 147.

Nyomora, A. y Brown, P. 1997. Fall foliar-applied Boron increases tissue Boron concentration and nut set of almond. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 122 (3): 405 – 410.

Nyomora, A et al. 2000. Foliar application of Boron to almond trees affects pollen quality. *J.Amer. Soc. Hort. Sci.* 125 (2): 256 – 270.

Ortiz, M. 1997. La calidad de las aguas de riego. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de publicaciones. Primera edición. 53p.

Palma, J. y Holwerda, H. 2004. Análisis técnico de foliares **SQM**. Seminario capacitación interna SQMC – Proyecto foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.

Palma, J. 2004. Calendarios de cultivos metas con foliares **SQM**. Uva de mesa, cítricos y hortalizas. Seminario Capacitación interna SQMC – Proyecto foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.

Palma, J. 2005. Nuevas técnicas de monitorización en fertirrigación en flores. Primer seminario internacional de nutrición y fertirriego, organizado por YaraColombia/**SQM**, Bogotá, Colombia.

Palma, J. 2006. Condiciones edáficas y de fertilización en arándanos. Material técnico **Speedfol™** de asistencia a filial **SQM**. 8p.

Palma, J. 2007. Fisiología del cultivo y estrategias de uso de productos de nutrición vegetal de especialidad (NVE). Segundo seminario internacional de nutrición y fertirriego, organizado por Yara Colombia y **SQM**, Bogota, Colombia.

Pastor et al., 1998. Diseño y manejo de plantaciones de olivar. Junta de Andalucía. Consejería de agricultura y pesca. Monografías 22/98. pp 163 – 177.

Peña, A. 2004. Manejo en terreno de fertilizantes foliares. Seminario capacitación interna SQMC – Proyecto foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.

Razeto, B. 1993. La Nutrición mineral de los frutales. Deficiencias y excesos. Publicación de **SQM** S.A. Editorial Eves S.A. 105p.

Razeto, B. 2004. Síntomas y deficiencias nutricionales. Seminario capacitación interna SQMC – Proyecto foliar Chile. En manual asesor **Speedfol™** Organizado por **SQM** casa matriz para SQMC Chile.

Razeto, B. y Castro, M. 2007. Fruit Analysis as a new approach to evaluate Boron status in avocado. *Journal of Plant Nutrition.* 30: 881 – 885.

Razeto, B. 2009. Nutrient Deficiency Symptoms in Fruit trees. Second Edition. **SQM**. Publicación en Imprenta. 175p.



- Rojas, C. 2004.** Nutrición boratada de los cultivos. Revista Tierra Adentro, Mayo - Junio. pp 40 - 43.
- Rosolem, C y Leite, V. 2007.** Seção iv - fertilidade do solo e nutrição de plantas. Coffee leaf and stem anatomy under Boron deficiency. R. Bras. Ci. solo, 31: 477-483.
- Silva, H y Rodríguez, S. 1995.** Fertilización de plantaciones frutales. Publicación de la Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. Primera edición. Santiago, Chile. 519p.
- Sindoni, M., Zamora, J. y Ramírez, R. 1994.** Síntomas de deficiencia de Boro y producción de materia seca en Ajonjolí. Revista Agronomía Tropical 44 (1): 135 - 150.
- Slavko, P. et al. 2001.** Boron transport and soluble carbohydrate concentration in olive. J.Amer. Soc. Hort. Sci. 126 (3): 291 - 296.
- Slavko, P. et al. 2001.** Foliar Boron application improves flower fertility and fruit set of olive. HortScience 36 (4): 714 - 716.
- Smyth, D. y Dugger W. 1981.** Cellular changes during Boron-deficient culture of the diatom (*Cylindrotheca fusiformis*). Physiol. Plant. 51: 111 - 117.
- Sosa, D. 2000.** El Boro en los frutales del género Prunas, Pyrus y Malus. En www.intercace.com.ar. 8p.
- SQM 2002.** Manual técnico de la papa. Specialty Field fertilizers Project. 127p.
- SQM 2005.** Guía de manejo **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)**. CropKit tomates Serie de ediciones técnicas, material de apoyo en presentaciones. 83p.
- SQM 2006.** **Specialty Plant Nutrition** management Guide. CropKit mango. Serie de ediciones técnicas, material de apoyo en presentaciones. 62p.
- SQM 2006.** Guía de manejo **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)**. CropKit papa. Serie de ediciones técnicas, material de apoyo en presentaciones. 87p.
- SQM 2006.** Guía de manejo **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)**. CropKit uva de mesa. Serie de ediciones técnicas, material de apoyo en presentaciones. 135p.
- SQM 2007.** Guía de manejo **Nutrición Vegetal de Especialidad (NVE)**. CropKit pimiento. Serie de ediciones técnicas, material de apoyo en presentaciones. 103p.
- SQM 2007.** **Specialty Plant Nutrition** Management Guide. CropKit tobacco. Series of technical editions, supporting material for presentations. 107p.
- SQMC. 2001.** Agenda del salitre. Sociedad Química y Minera de Chile S.A. Inscripción N° 117.758 I.S.B.N. N . 956 - 8058 - 00 - 1. Undécima edición. 2001. 1515p.
- SQMC. 2002.** Libro azul. Manual del fertirriego de **SQM**. Tercera edición. 231p.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Third edition. Sinauer Associates, Inc, Publishers. Sanderland, Massachusetts. 690p.
- Teelt van kasrozen. 1998.** Research Station for Floriculture and Glasshouse vegetables. Naaldwijk. The Netherlands. 62p.
- Toshiro, M. y Tadahiro, N. 1995.** In vivo ¹¹B NMR Observation of Plant Tissue. Analytical Sciences. Vol 11: 889 - 892.

- Ulrich, A. , Mostafa, M. y Allen, W. 1980.** Strawberry deficiency symptoms. A visual and plant analysis guide to fertilization. Division of agricultural sciences. University of California. Priced Publication N 4098: pp 30 - 31.
- Valencia, G. 1998.** Manual de nutrición y fertilización del café. Primera edición. Inpofos, Quito, Ecuador. 61p.
- Van Duin et al. 1987.** Synergic coordination of calcium in borate-polyhydroxy-carboxylate system. Carbohydr. Res. (162): 65 - 78.
- Vidal, I. 2006.** Fertiirriego en berries. Tercer seminario internacional de fertirriego, organizado por SQMC, Santiago, Chile.
- Wallace et al. 1956.** The diagnosis of mineral deficiencies in plants. Published by Her Majesty's Stationery Office. Second impression. 181p.
- Warington, K. 1923.** The effect of Boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. Ann. Bot. 37: 629 - 672.
- Weir, R.G. y Cresswel, G.C. 1993.** Temperature and subtropical fruit and nut crops. Plant Nutrient Disorders 1. NSW Agriculture. Published by Reed Internacional Books Australia Pty Limited trading as Innata Press.
- Weir, R.G. y Cresswel, G.C. 1995.** Tropical fruit and nut crops. Plant Nutrient Disorders 2. NSW Agricultura. Published by Reed Internacional Books Australia Pty Limited trading as Innata Press.
- Yara. 2002.** Plantmaster de Cítricos. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 38p.
- Yara. 2003.** Plantmaster de Uva de Mesa. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 34p.
- Yara. 2003.** WSNPK en Aplicación foliar. Primer seminario latinoamericano de especialidades, Buenos Aires, Argentina. 71p.
- Yara. 2004.** Melon Plantmaster. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 34p.
- Yara. 2004.** Pome Fruits Plantmaster. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 42p.
- Yara. 2005.** Banana Plantmaster. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 42p.
- Yara. 2005.** Potato Plantmaster. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 34p.
- Yara. 2005.** Stone Fruit Plantmaster en uva de mesa. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 45p.
- Yara. 2005.** Tomato Plantmaster en uva de mesa. Material Técnico de Yara/SQM/Phosyn. Editado por Barry Bull, **Specialty Plant Nutrition** Department. 38p.
- Yogaratan y Johnson. 1982.** The application of foliar spary containing nitrogen, magnesium, zinc and Boron to apple trees. II. Effects on the mineral composition and quality of the fruit. Journal of Horticultural Science 57(2): 159-164.



11 Glosario

Absorción: Proceso a través del cual la planta normalmente ingresa diversos elementos o sustancias desde el suelo a través de las raíces.

Adsorción: Proceso de adherencia de cationes a la micela del suelo, la cual posee en su centro cargas negativas y rodeado por un enjambre de cationes.

Apoplasto: (o apoplasto), conceptos introducidos a partir de 1930 por Munich. El apoplasto comprende la zona de difusión libre (espacio libre) y está constituido fundamentalmente por las paredes celulares, los espacios intercelulares y el lumen del xilema. Dicho sistema es continuo, sólo interrumpido a la altura de los endodermos debido a los engrosamientos de la banda de Caspary. En el apoplasto no hay, pues, barreras de permeabilidad siguiendo el movimiento de nutrientes de las leyes de la difusión simple.

Auxinas: Constituye un grupo de reguladores del crecimiento, que estimula la elongación de las células y también tiene otros efectos.

Celulosa: Polisacárido complejo que es el principal constituyente de las paredes celulares de las plantas.

Encalado: Enmienda que se realiza en el suelo con la finalidad de obtener cambios en el suelo de tipo físico, químico y biológico, aplicando caliza de origen, óxidos o hidróxidos que contienen óxidos cálcicos (CaO) y óxidos magnésicos (MgO) en sus componentes.

Floema: Tejido característico, que es el principal constituyente de las paredes celulares de muchas plantas, que moviliza fotosintatos y agua (savia elaborada) desde los órganos productores hacia los órganos demandantes.

Glucosa: Azúcar común, cuya fórmula es $C_6H_{12}O_6$.

Humus: Sustancia compuesta por productos orgánicos, de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos, sean estos tanto de residuos vegetales como de la materia orgánica del suelo. Se caracteriza por su color negruzco debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica.

Laminilla o lámina media: La delgada capa compuesta de sustancias pécticas, que une dos células adyacentes.

Látex: Un líquido incoloro, o más frecuentemente blanco, amarillo o rojizo, producido por algunas plantas, caracterizado por la presencia de partículas coloidales de terpenos dispersos en agua.

Lignina: Un componente esencial de las plantas.

Lixiviación: Pérdidas de nutrientes y de agua debido a las condiciones del tiempo, a las diferencias de los suelos y a la diversidad en su cuidado y manejo. Existen instrumentos denominados lisímetros que presentan cuantitativamente esta cantidad lixiviada en suelos o sustratos.

Material parental: en ciencia del suelo, significa el material geológico inalterado (generalmente roca madre o de un depósito superficial o arrastrado) en donde se irán formando los horizontes del suelo a través de procesos pedogenéticos (hidrolización, oxidación) y donde se pueden destacar varios tipos de material parental, tales como aluviales, coluviales, fólicos, volcánicos y otros.

Meteorización: Proceso que sufren los minerales del suelo, el cual, junto a la presencia de ciertas cantidades de materia orgánica no descompuesta, da por resultado una estratificación horizontal superior característica, la cual es modificada bioquímicamente y denominada comúnmente suelo.

Quelación: Es la habilidad de un compuesto químico para formar una estructura en anillo con un ion metálico, resultando en un compuesto con propiedades químicas diferentes a las del metal original. (El quelante impide que el metal siga sus reacciones químicas normales). El nombre Quelato (en inglés "Chelate") se deriva de la palabra griega "Chela", que significa Pinza, porque el anillo que se forma entre el quelante y el metal es similar en apariencia a los brazos de un cangrejo con el metal en sus pinzas.

Sacarosa: El disacárido más común; tiene la fórmula química $C_{12}H_{22}O_{12}$ y, cuando se hidroliza, entrega cantidades iguales de glucosa y fructosa.

Sink: Es el punto de mayor atracción de agua y nutrientes durante el proceso productivo. Pasa a ser el tejido prioritario en el flujo de asimilados respecto a otros órganos.

Simplasto: Sistema de conducción de agua y nutrientes que requiere que los solutos atraviesen la barrera semipermeable, o selectivamente permeable, del plasmalema. Una vez atravesado el plasmalema, en el seno del citoplasma, el simplasto forma un sistema unitario y continuo que se intercomunica célula a célula (o citoplasma a citoplasma) por los plasmodesmos a través de los desmotúbulos o conexiones del retículo endoplasmático.

Sustancias pécticas: Polímero de pentosas o hexosas con grupos-COOH incorporados que las hace hidrofílicas y les permite combinarse con ciertos metales.

The Element Q: Es el sello de garantía único de **SQM** contenido en las fórmulas de negocio desarrolladas por nuestra compañía (marcas) en todo el mundo.

Transporte activo: Mecanismo de difusión contra gradiente de concentraciones que requiere del aporte energético por parte de la célula.



Transporte pasivo: Ocurre por difusión libre de los iones o poros de gradiente. Se trata pues, de un mecanismo físico y, de acuerdo con los principios de la termodinámica, de carácter espontáneo.

Tubo criboso: Tubo del floema formado por varios elementos cribosos, unidos extremo con extremo.

Uracil: Grupo químico, que tiene una acción especialmente acusada sobre la fotosíntesis, más que sobre el metabolismo de los ácidos nucleicos, en contra de lo que podría sugerir su semejanza estructural con el Uracilo.

Xilema: El tejido característico conductor de agua y nutrientes (denominada savia cruda) de las plantas superiores.



**SQM S.A.**

Los Militares 4290
Las Condes, Santiago, Chile
Tel: (56 2) 425 2000
Fax: (56 2) 425 2416
E-mail: spn-chile@sqm.com

Saquimich Comercial S.A.

Los Militares 4290, Piso 3
Las Condes, Santiago, Chile
Tel: (56 2) 425 2525
Fax: (56 2) 425 2266
E-mail: servicioalcliente@sqm.com

SQM Brasil

Alameda Tocantins 75, Sexto Andar
Alphaville, Barueri, CEP, 06455-020
Sao Paulo, Brasil
Tel: (55 11) 413 37210
Fax: (55 11) 413 37205
E-mail: spn-brasil@sqm.com

SQM Ecuador S.A.

Avda. Juan Tanca Marengo y Avda.
José Orrantía, Edificio Executive Center,
Piso 2, Of. 211, Guayaquil, Ecuador
Tel: (593 4) 269 0639
Fax: (593 4) 269 0639
E-mail: spn-ecuador@sqm.com

SQM Perú S.A.

Avda. Camino Real Nº 348
Oficina 702 - 703, Torre el Pilar
San Isidro, Lima, Perú
Tel: (51 1) 611 2121
Fax: (51 1) 611 2122
E-mail: spn-peru@sqm.com

SQM Comercial de México S.A. de C.V.

Industria Eléctrica s/n Lote 30, Manzana A
Parque Industrial Bugambilias, C.P. 45645,
Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, México
Tel: (52 33) 354 01100
Fax: (52 33) 354 01101
E-mail: spn-mexico@sqm.com

SQM North America

3101 Towercreek Parkway
Suite 450, Atlanta, GA 30339 USA
Tel: (1 770) 916 9400
Fax: (1 770) 916 9457
E-mail: spn-northamerica@sqm.com

SQM Europe, Middle East & Africa

Sint Pietersvliet 7, bus 8,
2000 Antwerpen - Belgium
Tel: (32 3) 203 9700/20
Fax: (32 3) 203 9772
E-mail: spn-emea@sqm.com

SQM China

Room 1001B, CBD International Mansion,
Nº 16 Yang an dong li, Jian Wai Ave,
Beijing 100022 China
Tel: (86 10) 64618950
Fax: (86 10) 84540885
E-mail: spn-china@sqm.com

SQM Asia Pacific

Sint Pietersvliet 7, bus 8,
2000 Antwerpen - Belgium
Tel: (32 3) 203 9700/20
Fax: (32 3) 203 9772
E-mail: spn-asia@sqm.com